

TIETOMALLIPOHJAISTEN INFRAHANKKEIDEN VAATIMUKSET MAARAKENNUSALAN PK-YRITYKSELLE

Yli-Pyky Jaska

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jaska Yli-Pyky	Vuosi	2018
Ohjaaja(t)	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Oulun Autokuljetus Oy		
Työn nimi	Tietomallipohjaisten infrahankkeiden vaatimukset maarakennusalan PK-yritykselle		
Sivu- ja liitesivumäärä	62 + 0		

Talorakennusosalalla tietomallipohjaisen rakentamisen ja suunnittelun kehitystä on tehty jo yli 20 vuotta. Tietomallipohjaisen toteutustavan on havaittu edistävän työn tuottavuutta, nopeuttavan rakentamista, parantavan laatua ja vähentävän materiaalihävikkiä. Infrarakentamisen alalla tietomallintaminen on lähtenyt Suomessa käyntiin hitaammin kuin talorakennusosalalla. Tietomallit alkoivat kuitenkin yleistyä infrarakentamisessa vuoden 2014 aikana yhteisen tiedonsiirtoformaatin ansiosta, ja viime vuosina muutos onkin lähtenyt kunnolla vauhtiin tietomallipohjaisten infrahankkeiden jatkuvan yleistymisen myötä. Tällainen muutos luo kuitenkin paineita urakoitsijoille, ja mikäli maarakennusalan PK-yritys haluaa tulevaisuudessa tarjota tällaisia urakoita, täytyy yrityksen henkilökunnalla myös olla valmiudet toteuttaa niitä.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Oulun kaupungin tietomallipohjaisten infrahankkeiden vaatimuksia maarakennusalan PK-yritykselle. Asiaa lähestyttiin tutustumalla taustakirjallisuuteen, sekä haastatteleamalla urakoita tilaavan organisaation edustajia. Tutkimuksen tarkoituksena oli luoda toimeksiantajayritys Oulun Autokuljetus Oy:n henkilökunnalle selkeä kuva tietomallipohjaisista infrahankkeista ja erityisesti Oulun kaupungin hankkeista. Tutkimuksessa myös selvitettiin, millä tavoin tällaiset hankkeet vaikuttavat urakoitsijayrityksessä urakkalaskentaan, työnjohtoon, mittaukseen ja työkonenekuljettajiin.

Avaintekijöinä tietomallipohjaisten hankkeiden toteutuksessa ovat henkilökunnan riittävä koulutus ja tietotaito sekä hankkeisiin soveltuvat välineet ja ohjelmistot. Tietomallipohjaiset infrahankkeet vaikuttavat erityisesti yrityksen mitaushenkilöstöön lisääntyvän vastuun sekä uusien tehtävien suorittamiseen vaadittavien koulutuksien ja ohjelmistojen kautta.

Technology Communication and Transport
Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Jaska Yli-Pyky	Year	2018
Supervisor	Timo Karppinen		
Commissioned by	Oulun Autokuljetus Oy		
Subject of thesis	Requirements of Building Information Based Infrastructure Building Projects for a Small or Medium Sized Earthworks Company		
Number of pages	62 + 0		

The thesis studied the requirements of building information model based infrastructure building projects of the City of Oulu for a small or medium sized earthworks company. In Finland building information modeling has been increasing in the field infrastructure construction during the last few years. This kind of change in the implementation of construction project creates pressure for contractors if they wish to make offers to such contracts in the future. The employees of the contractor must also have the means to implement such construction projects. The purpose of the study was to give an overview of the building information model based construction projects to the personnel of the commissioning company Oulun Autokuljetus Oy. The study focused particularly on the projects of the City of Oulu. Another purpose of the study was also to find out how such projects affect the company's foremen, surveyors, earthworks machine operators, and the personnel who calculate the contract offers.

The study was done through a literature review and through an interview of the representatives of the builder organization. The literature review focused mainly on publications of the BuildingSMART Finland and the research reports and publications of the Finnish Transport Agency.

Implementation of the building information model based infrastructure building project requires sufficient know-how and education of the personnel of the contractor. The contractor also needs suitable equipment and software for the projects. These kinds of projects have an impact especially on the surveyors through an increased responsibility, a required education and a new software.

Key words BIM, Building information model, Infrastructure, Machine control, YIV2015

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	10
1.1	Työn tausta	10
1.2	Tavoitteet ja aiheen rajausta	10
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	11
2	BUILDING INFORMATION MODEL (BIM)	12
2.1	Rakennuksen tietomalli yleisesti	12
2.2	Historia	14
2.3	Nykytilanne	15
3	TIETOMALLIPOHJAINEN INFRAHANKE	17
3.1	Koneohjausjärjestelmät	17
3.2	YIV2015	19
3.3	Tietomallit infrahankkeissa	20
3.4	Inframallin osat	21
3.5	Tiedonsiirtoformaatit	23
3.5.1	IFC (industry foundation classes)	23
3.5.2	LandXML	23
3.5.3	Inframodel3	24
3.5.4	Inframodel4	26
3.6	Projektin hallinta	26
3.7	Urakkalaskenta	28
3.7.1	Tarjouksen muodostaminen	28
3.7.2	Määrälaskenta	29
3.8	Työnjohto	32
3.9	Mittaus	33
3.9.1	Mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä	34
3.9.2	Toteutusmallien tarkastaminen	35
3.9.3	Tukiaseman ja koneohjausjärjestelmien tarkkuuden seuranta ja dokumentointi	36
3.9.4	Toteuma- ja tarkemittaukset sekä niiden dokumentointi	39
3.10	Koneenkuljettajat	42
4	TIETOMALLIPOHJAINEN INFRAHANKE OULUN KAUPUNGILLA	45
4.1	Tausta	45

4.2	Laadun varmistus	47
4.3	Mallien tekeminen	51
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	54
6	POHDINTA	57
	LÄHTEET	58

ALKUSANAT

Kiitän opinnäytetyön ohjaamiseen osallistuneita Lapin AMK:n henkilökunnan jäseniä, Oulun Autokuljetus Oy:n henkilökuntaa ja erityisesti Oulun Autokuljetus Oy:n puolesta opinnäytetyöni ohjaajaa Jussi Honkasta. Opinnäytetyön tekeminen olisi ollut huomattavasti vaikeampaa ilman yrityksen myöntämää opintopaata ja Jussin hyvää sisällön ohjausta ja ideointia.

Kiitän myös Oulun kaupungin haastatteluun osallistuneita Mikko Ukkolaa, Sami Hietakangasta ja Sauli Heikinheimoa. Haastattelusta sain hyvän kuvan ja muuta tietoa Oulun kaupungin näkemyksistä ja toimintatavoista tietomallipohjaisiin hankkeisiin liittyen.

Kiitokset kuuluvat myös perheelleni kannustuksen, avun ja opinnäytetyön tekemisen mahdollistamisen vuoksi. Lisäksi haluan vielä kiittää lähteenä käytettyjen keskustelujen muita osapuolia tärkeistä taustatiedoista ja näkemyksistä asiaan sekä ystävääni Petra Haataista avusta kielenhuollon kanssa.

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

AR	(<i>Augmented reality</i>) Lisätty todellisuus.
BIM	(<i>Building Information Model</i>) Rakennuksen tietomalli.
CAD	(<i>Computer Aided Design</i>) Tietokoneavusteinen suunnittelu.
GNSS	(<i>Global Navigation Satellite System</i>) Satelliittipaikannusjärjestelmä, joka kattaa koko planeetan.
GNSS-tukiasema	GNSS-mittauksessa hyödynnettävä satelliittisignaali-vastaanotin, joka lähettää siihen yhteydessä oleville mittavälineille niiden sijainnin tarkkuuteen liittyvää korjaussignaalia.
IFC	(<i>Industry Foundation Classes</i>) Taitorakenteiden tietomallien tiedonsiirtoformaatti.
Infra	Yhteiskunnan toiminnan kannalta oleelliset rakenteet, kuten tiet, viemäroinnit, vesijohdot ja sähköverkot.
Inframodel	Suomalainen infrarakentamisen tietomallien tiedonsiirtoformaatti.
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
Itselleluovutus	Tarkastus tehdyn tuotteen laadusta ennen luovutusta tuotteen tilaajalle.
LandXML	Kansainvälinen standardisoitu avoin tiedonsiirtoformaatti, joka on kehitetty erityisesti infrarakentamisen ja maanmittauksen käyttöön (LandXML.org 2017).

Objekti	Tietomallissa oleva komponentti, joka kuvaa jotain tiettyä rakennetta tai laitetta, kuten sadevesikaivoa.
Parametrinen mallinnus	Sääntöjen, mittojen ja muiden ennalta asetettujen vaatimusten kautta tapahtuva mallintaminen.
PK-yritys	Nimitys pienistä ja keskisuurista yrityksistä
Projektipankki	Palvelinkirjasto, jonka kautta rakennusprojektin tietoja hallitaan, arkistoidaan ja jaetaan.
Rakennekerros	Tien tai väylän alus- tai päällysmateriaalin kerros. Eri- laisia rakennekerroksia tehdään tien kantavuuden ja routimisen vuoksi. Eri- laisia kerrostyyppejä ovat esimerkiksi suodatin-, eristys-, jakava, kantava ja profilointi- kerrokset.
RTK	(<i>Real Time Kinematic</i>) Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus. GNSS-tukiasemaa hyväksi käyttävä satelliitti- paikannuksen menetelmä.
RTK-FIX	RTK:ta hyödyntävässä mittauksessa mittalaitteen tila, jossa mittalaite on yhteydessä tukiasemaan ja vas- taanottaa korjaussignaalia.
ST-urakka	Suunnittele ja toteuta -urakkamuoto.
Takymetri	Tarkka mittalaite, jolla mitataan kulmien ja etäisyyksien avulla pisteiden sijaintia kojeen suhteen.
Tietomalli	Digitaalinen esitys kohteesta, jossa on myös esitettyinä kohteen ja sen osien ominaisuuksia.

VRS	(<i>Virtual Reference Station</i>) Virtuaalinen GNSS-tukiasema.
XML	(<i>eXtensible Markup Language</i>) Standardisoitu tiedon- siirron ja -arkistoinnin tiedostotyyppi (W3Schools.com).
XML-Skeema	Sääntöjoukko, joka määrittelee XML-dokumentin ra- kenteen (W3Schools.com).
YIV2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015.
4D-tietomalli	Tietomalli, jossa on tietomallin objekteille määritetty rakentamis- tai asennusaikataulu.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Talorakennusalalla tietomallipohjaista suunnittelua ja toteutusta on hyödynnetty jo pitkään. Tietomallinnusta on hyödynnetty myös infrarakentamisessa, mutta toistaiseksi vähemmän kuin talorakennusalalla. Tietomallintamisen on havaittu edistävän työn tuottavuutta, nopeuttavan rakentamista, parantavan laatua ja vähentävän materiaalihävikkiä. (Puuperä 2015, 19–20.) Muutaman viime vuoden aikana tietomallipohjaiset hankkeet ovat kuitenkin alkaneet infra-alalla yleistyä kiihtyvällä vauhdilla eikä havaittavissa ole ainakaan tahdin hidastumista. Aiemmin tietomalleja on infrarakentamisessa hyödynnetty enimmäkseen suurissa hankkeissa, mutta viime aikoina myös kaupungit ovat lähteneet mukaan hankkeidensa tietomallintamiseen, joten tietomallit ovat alkaneet yleistyä myös pienemmissä hankkeissa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun Autokuljetus Oy (OAK), joka urakoi maarakennusalan rakennuskohteissa Oulun ja Oulun ympäristökuntien alueella. Yrityksen koko 70-vuotisen historian ajan yksi sen suurimmista asiakkaista on ollut Oulun kaupunki. Oulun kaupunki on lähivuosien aikana siirtymässä ensisijaisesti tietomallipohjaiseen infrarakentamiseen, ja tällainen muutos tulee luomaan uudenlaisia haasteita, edellytyksiä ja toimintatapoja infrahankkeissa läpi koko projektin.

1.2 Tavoitteet ja aiheen rajaus

Oulun Autokuljetus Oy:n tarkoituksena on pystyä tulevaisuudessakin säilyttämään kilpailukykyä Oulun kaupungin infrahankkeissa. OAK ei ole vielä toistaiseksi ollut toteuttamassa tietomallipohjaista infrahanketta. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten tietomallipohjaisessa infrahankkeessa toimitaan ja millaisia asioita yrityksen sisällä eri tehtävissä toimivien henkilöiden täytyy hallita pystyäkseen toimimaan tehokkaasti tällaisessa hankkeessa. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on toimia yritykselle tietopakettina tietomallipohjaisista infrahankkeista.

Tutkimuskohteena ovat ensisijaisesti Oulun kaupungin tietomallipohjaisten hankkeiden toteutuksen edellytykset urakoitsijalle. Oulun kaupungin tietomallipohjaiset hankkeet perustuvat miltei täysin YIV2015-julkaisuun. Julkaisun tutkimisen kautta opinnäytetyö antaa myös hyvän peruskuvan Liikenneviraston ja muiden suurien infraomistajien hankkeista, sillä yleensä myös nämä seuraavat enimmäkseen YIV2015-ohjeistusta. Liikenneviraston ja muiden infraomistajien hankkeet eivät kuitenkaan ole tutkimuksen kohteena.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä on käytetty taustatietojen osalta kirjallisuusselvitystä ja Oulun kaupungin hankkeiden osalta myös haastattelua. Kirjallisen aineiston keruu on toteutettu suurelta osin internetin kautta, sillä painettua kirjallisuutta Suomen tietomallipohjaisesta infrarakentamisesta ei juuri ole saatavilla. Aiheeseen liittyviä opinnäyte- ja diplomitöitä on olemassa muutamia ja niiden kautta on saatu lisää lähteitä ja taustatietoa. Lisäksi opinnäytetyön aineistoa on kerätty tilaajan haastattelulla ja keskusteluilla alan ammattilaisten kanssa.

Tutkimuksen keskeisimpinä tiedonlähteinä toimivat YIV2015-julkaisu, Oulun kaupungin edustajien haastattelu ja Oulun kaupungin ohjeistus tietomallipohjaisiin hankkeisiin. Lisäksi muita tärkeitä kirjallisia tiedonlähteitä ovat BuildingSMART-organisaation julkaisut sekä liikenneviraston tutkimukset ja selvitykset. Osa opinnäytetyön sisällöstä perustuu myös kirjoittajan omiin kokemuksiin ja työn kautta saatuun tietoon.

Kerätyn aineiston perusteella analysoidaan, millaisia asioita yrityksen tulee huomioida infrarakentamisen tietomallinnuksen myötä. Yrityksen täytyy esimerkiksi selvittää, miten tietomallipohjaiset hankkeet vaikuttavat mittaushenkilöstöön, työnjohtoon, urakkalaskentaan ja koneenkuljettajiin sekä millaisia valmiuksia yrityksen täytyy hankkia laitteistojen, ohjelmistojen ja henkilökunnan koulutuksen kautta.

2 BUILDING INFORMATION MODEL (BIM)

2.1 Rakennuksen tietomalli yleisesti

Yhdysvaltojen kansallinen BIM-standardi määrittelee termin seuraavalla tavalla: BIM eli rakennuksen tietomalli on digitaalinen esitys laitoksen fysikaalisista ja toiminnallisista ominaisuuksista. Sellaisena se toimii jaettuna tietoresurssina, joka tarjoaa tietoa laitoksesta ja muodostaa luotettavan perustan rakennusta koskeville päätöksille koko sen elinkaaren aikana suunnittelusta purkamiseen asti. (National BIM standard 2015.) Yleinen väärä käsitys tietomalleista puhuttaessa on, että ne ovat vain arkkitehtejä varten. Toinen virheellinen käsitys on, että niitä hyödynnetään vain suurissa rakennuksissa. BIM:iä voidaan käyttää esimerkiksi rakennusten, kunnallistekniikan, rakenteiden, energiatehokkuuden, laitteistoiden, teiden, ympäristön, vesistöjen, metrojen, rautateiden, tunneleiden ja kaavoituksen suunnittelussa sekä kaupunkisuunnittelussa. Sitä käytetään myös edellä mainittujen rakentamiseen, ylläpitoon ja havainnollistamiseen. (Green 2016.) Kun BIM:iä käytetään tietovarastona, on lähes kaikki rakennuksen omistajan rakennuksesta tarvitsema tieto elektronisesti saatavilla rakennuksen koko elinkaaren ajan. Tietomallia voivat hyödyntää omistajan lisäksi todella monet eri toimijat, kuten kaavoittajat, suunnittelijat, kiinteistönvälittäjät, hinnanarvioijat, pankkiirit asuntolainahakemuksen yhteydessä, kiinteistönhoitajat, turvallisuustarkastajat, työterveyshuolto, palveluntarjoajat, ympäristöviranomaiset, lakimiehet, urakoitsijat, saneeraajat, pelastuslaitos ja lopulta purkourakoitsija. (National BIM standard 2015.)

Rakennusprojekteihin kuuluu monia eri toimijoita, joiden yhteistyön täytyy toimia hyvin ja samojen tietojen pohjalta, jotta projekti toimisi tehokkaasti. Suuria ongelmia perinteisessä dokumenttipohjaisessa suunnittelussa ovat virheellisten tulkintojen mahdollisuus ja tiedon hidas kulku eri toimijoiden välillä – näin virheiden mahdollisuus kasvaa. (BuildingSMART Norway 2014.) BIM antaa sekä suunnittelijoille, tilaajille että rakentajille mahdollisuuden tutustua rakennusprojektin eri vaiheisiin digitaalisesti ja sitä kautta helpottaa eri rakennusvaiheiden koordinointia. BIM:issä yhdistyvät koko rakennusprojektin digitaalinen kolmiulotteinen malli ja reaaliaikaiset tietokannat, joissa on materiaali-, toleranssi-, kus-

tannus- ja muita rakennusprojektille olennaisia ominaisuustietoja. Tämän tietomallin kautta suunnittelijoiden on mahdollista iteroida, simuloida ja testata kaikkia rakentamisen näkökulmia ennen kuin rakentamista on edes aloitettu. Eri rakennustekniikkalajien yhdistämisen ja muiden rakentamiseen liittyvien ongelmien huomaaminen ja ratkaiseminen ennakkoon on tällä tavoin huomattavasti helpompaa kuin perinteisten suunnitelmien kautta. Koska ongelmakohdat on helpompi huomata ja ratkaista etukäteen, rakennusprojektissa säästyy sekä aikaa että rakennusmateriaaleja. (Garber 2014, 14.) BIM:in kautta kaikki tieto on kaikkien toimijoiden saatavilla reaaliaikaisesti siten, että kaikki voivat toimia tehokkaasti (BuildingSMART Norway 2014).

BIM-projekti lähtee käyntiin normaalisti tilaajan tarpeista ja mieltymyksistä. Nä-mä kirjataan tietokantaan, joka kulkee koko projektin ajan tietomallin mukana. Suunnittelijat alkavat luoda tietomallia rakennettavasta kohteesta näiden tilaajan tarpeiden ja mieltymysten pohjalta. Rakennuksen suunnitelmat koostuvat suuresta määrästä digitaalisia objekteja, joilla kaikilla on omat ominaisuustiedot. Esimerkkinä voidaan käyttää vaikka ovea: Suunnittelija valitsee objekti kirjastosta sellaisen oven, joka täyttää suunnittelijan määrittämät parametrit, kuten leveys, korkeus, materiaali, kiinnitystapa, väri ja U-arvo. Ohjelmisto lisää ovelle automaattisesti sijaintitiedot sen mukaan, mihin suunnittelija oven sijoittaa. Suunnittelija myös sijoittaa koko rakennuskohteen digitaaliselle kartalle, jonka mukaan rakennusliike osaa rakentaa kohteen oikeaan sijaintiin. Tietomallin kautta koko projektiryhmä voi tehokkaasti arvioida rakennuksen rakentamiskustannuksia ja -aikataulua sekä ylläpitokustannuksia, energiatehokkuutta ja ympäristövaikutuksia. Kun tietomalli on valmis, sitä voi käyttää alueen rakennusvalvontaviranomaisille lähetettävässä rakennuslupahakemuksessa. Viranomaisten BIM-ohjelmat tarkistavat suunnitelmat, ja näiden tarkistusten perusteella rakennuslupa voidaan myöntää. Rakennusliike käyttää BIM:iä rakentamisen suunnitteluun sekä eri tuotteiden valmistajien ja mahdollisten aliurakoitsijoiden kilpailuttamiseen. Lopullisten asennettavien tuotteiden tiedot päivitetään tietomalliin. Rakennuksen valmistuttua BIM luovutetaan rakennuksen ylläpidosta huolehtivalle toimijalle, jolloin esimerkiksi oven rikkoutuessa kiinteistönhuolto voi heti paikan päällä tabletilla tai muulla älylaitteella tilata uuden vastaavan rikkoontuneen tilalle. Tämän mahdollistaa se, että kaikki oveen liittyvät tiedot ovat heti

saatavilla BIM:in kautta paikasta riippumatta. Uudet vaihdetut osat myös kirjataan BIM:iin. Näin varmistetaan tietomallin pysyminen ajantasaisena. (BuildingSMART Norway 2014.)

BIM:in käyttö mahdollistaa myös 4D-mallien luomisen rakennusprojekteista. 4D-suunnittelun avulla rakennusprojektin vaiheet saadaan simuloitua aikaan sidottu siten, että koko rakennusprojektia voidaan tarkastella vaihe vaiheelta. Tällöin työvaiheet voidaan suunnitella siten, että kaikki työryhmät voivat koko ajan työskennellä ilman että työvaiheet häiritsevät toisiaan. Garber käyttää esimerkkinä Denverin taidemuseota, joka valmistui kolme kuukautta etuajassa ilman lisäkustannuksia, vaikka rakennus oli geometrisesti todella vaativa. Tämän mahdollisti se, että urakoitsija sijoitti aikaa ja rahaa täydellisen 4D-mallin tuottamiseen. (Garber 2014, 19.)

2.2 Historia

Ideana BIM ei ole uusi asia. Nykyaikaista parametrista mallinnusta muistuttava ajatus esiintyi ensimmäisen kerran jo vuonna 1962 Douglas Engelbartin tutkimuksessa *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. (Green 2016.) Tutkimuksessa Engelbart kuvailee, kuinka arkkitehti voisi syöttää tietokoneelle tietoa ja määrittelyjä suunnittelemallensa rakennukselle alueen kartoitustietojen päälle ja katsoa, kuinka tietokoneen näytölle piirtyy näiden tietojen perusteella rakennus. Rakennuksen mallia voisi tutkia eri kulmista ja muokata tarpeen mukaan. Tietokone voisi myös kertoa erinäisiä toiminnallisia ja ulkonäöllisiä seikkoja rakennuksesta – esimerkiksi, että keittiön ikkuna voi auringon paisteella häikäistä autonkuljettajaa tiellä kesällä kello 6.00–6.30 välisenä aikana. Rakennuksen mallin ja siihen johtaneen ”ajatusrakenteen” voisi sen valmistuttua tallentaa nauhalle ja toimittaa edelleen muille suunnittelijoille ja rakennuttajalle, jotta myös he voisivat tutkia siitä heitä kiinnostavia asioita. Tämän nauhan voisi myös säilyttää myöhempiä mahdollisia tarpeita varten. (Engelbart 1962, 4–6.)

Termiä BIM käytettiin ensimmäisen kerran 90-luvulla, mutta laman vaikutuksesta sen aikaiset vaiheet etenivät hitaasti. Laman jälkeen BIM lähti kehittymään,

mutta vasta viime aikoina se on todella alkanut yleistyä ja nousta esille. Omistautuneille CAD-käyttäjille BIM voi vaikuttaa uudelta ja pelottavalta asialta, mutta muutos CAD:stä BIM:iin on ollut tulossa jo pitkän aikaa. (Green 2016.)

2.3 Nykytilanne

BIM on vähitellen alkanut korvata perinteistä kaksiulotteista suunnittelua ja dokumentaatiota rakentamisen alalla. Tämän muutoksen myötä rakentamisen tehokkuus tulee nousemaan ja kustannukset laskemaan. BIM tehostaa suunnittelua, nopeuttaa dokumentaatiota, vähentää virheitä, parantaa rakentamista ja sen aikatauluttamista sekä optimoi toiminnallista suorituskykyä. (Levy 2011, 3–4.)

Tietomallit ja niiden avulla toteutettavat rakennushankkeet ovat yleistyneet erityisesti viimeisen viiden vuoden aikana suunnitteluteknologian huomattavan kehittymisen myötä (Hiltunen 2017). Todella monet rakennuksiin liittyvien rakenneosien, materiaalien ja varusteiden valmistajista ovat jo luoneet omista tuotteistaan tietomalliobjektit, jotka voi maksuttomasti ladata internetistä. Valmistajien luomien, suunnittelijoille käytettävissä olevien valmiiden objektien määrä kasvaa jatkuvasti yhä useampien valmistajien lähtiessä mukaan tietomallintamisen aikakauteen. (BIMobject 2018.)

Tietomallipohjaisen rakennushankkeen esittäminen esimerkiksi tilaajalle tai muille sidosryhmille ei välttämättä vaadi mitään erityisohjelmia pelkkää tarkastelusta varten. Suunnitteluohjelmilla on mahdollista tallentaa rakennuksen 3D-tuotemalli 3D-pdf-tiedostoksi, jolloin mallia voidaan tutkia esimerkiksi tavallisessa Adobe Acrobat Reader -ohjelmalla. Mallissa voi myös olla tallennettuna vain tietyt osat, joita halutaan tutkia, kuten rakennusrunko tai leikkauksia. (Hiltunen 2017.) Ohjelman avulla voidaan esimerkiksi piilottaa mallin osia, katsoa mallin sisään ja käännellä mallia aivan kuin malli olisi omassa kädessä (Adobe Systems Software Ireland Ltd. 2018).

Tietomalleista voidaan myös luoda virtuaalitodellisuusmalleja esittely-, työmaaperehdytys- tai tutkimistarkoituksiin. Tällaisia virtuaalitodellisuusmalleja voidaan tutkia joko tietokoneella hiiren ja näppäimistön tai virtuaalilasien avulla. Mallin sisällä voidaan liikkua ja tutkia, miltä rakennus näyttäisi valmiina. Virtuaalitodellisuusmallista voidaan luoda vielä täydellisempi *augmented reality* -malli eli AR-malli, johon voi olla lisäksi lisätty ääntä, animoituja objekteja ja ilmiöitä, kuten ihmisiä, liikennevälineitä, eläimiä, valoja, sääefektejä ja päivän- tai vuodenaikojen. (Hiltunen 2017.)

Jatkuvasti yhä useampi tilaaja vaatii suunnittelijoilta rakennushankkeiden tietomallintamista. Tietomallinnuksen parissa työskentelevät ovatkin sitä mieltä, että BIM-projektit ovat nopeampia ja ongelmattomampia kuin perinteiset dokumenttipohjaiset projektit. Erityisesti suurissa hankkeissa tietomallintaminen edesauttaa laaturakentamista ja mahdollistaa lähempää yhteistyötä eri osapuolten välillä. (Anderson.) BIM:in luomat muutokset rakennusallalla ovat vielä toistaiseksi olleet maltillisia, mutta yleistymisen ja käytettävyyden parantumisen myötä BIM tulee olemaan tärkeä askel kohti rakennusalan tulevaisuuden toimintaympäristöä (Manninen 2017).

3 TIETOMALLIPOHJAINEN INFRAHANKE

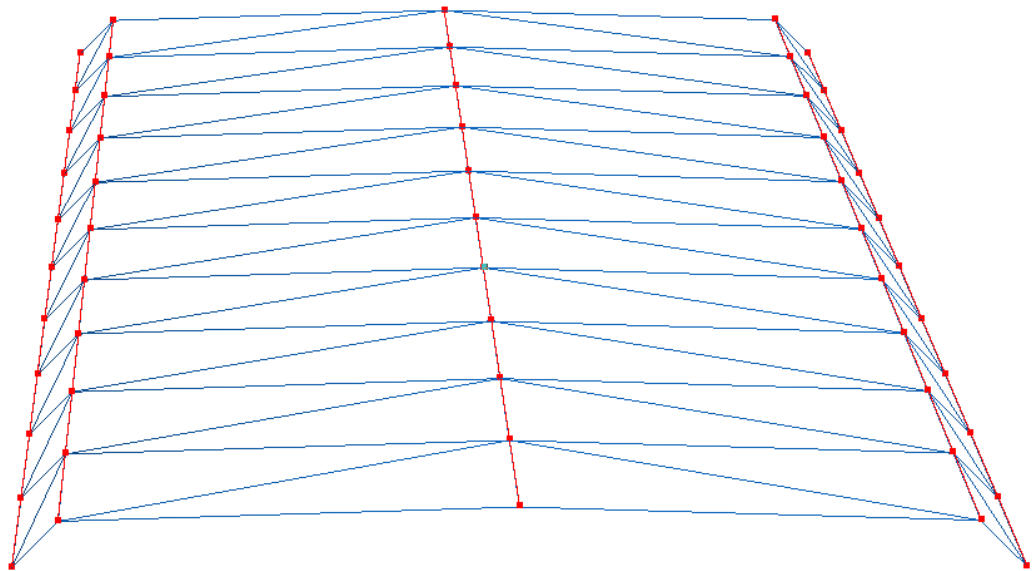
3.1 Koneohjausjärjestelmät

Tietomallipohjaisten infrahankkeiden yhtenä pääkohtana ovat koneohjauksella toteutettavat maarakenteet. Koneohjaus maarakennuksessa on yleistynyt viimeisen kymmenen vuoden aikana ja yleistyy edelleen. Suurissa hankkeissa koneohjauksen hyödyntäminen on jo itsestäänselvyys, mutta myös keskikokoisilla ja pienillä työmailla koneohjaus on nykyään arkipäivää. Koneohjausjärjestelmiä voidaan hyödyntää monenlaisissa työkoneissa, kuten kaivinkoneissa, pyöräkuormaajissa, puskutraktoreissa, tiehöylissä, valssijyrissä, asfaltinlevittimissä ja -jyrsimissä, stabilointikoneissa sekä pora- ja paalutuskoneissa. Nykyään Suomessa jo yli puolet 20–30 tonnin kaivinkoneista varustetaan hankinnan yhteydessä koneohjausjärjestelmällä. Koneohjausjärjestelmiä on usean tasoisia: pelkästään suhteellisen korkeuden ilmoittavista 2D-järjestelmistä täysin automaattisesti toimiviin 3D-järjestelmiin. (Laukkanen & Sammatti 2017, 92.) Keskityn tässä luvussa kuitenkin yleisimpiin opastaviin GNSS-paikannuksella toimiviin 3D-järjestelmiin, jollaisia toimeksiantajayrityksessä tällä hetkellä on käytössä.

Opastava 3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneissa ja pyöräkuormaajissa toimii lähes poikkeuksetta GNSS-paikannuksella, jossa koneohjausjärjestelmä laskee koneen sijainnin ja suunnan kahden satelliittisignaalin vastaanottimen avulla. Pelkästään satelliiteilta tuleva sijaintitieto ei kuitenkaan ole vielä riittävän tarkka todellisen työn tekemistä varten, koska tällöin sijainnin tarkkuus koneelle on parhaimmillaankin noin 1 metri. Jotta päästäisiin senttimetriluokan sijaintitarkkuuteen, tarvitaan järjestelmälle RTK-korjaus (*real time kinematic*). RTK-korjauksessa koneohjausjärjestelmä seuraa satelliittien lisäksi kiinteän tukiaseman lähettämää korjaussignaalia ja tarkasti tiedossa olevaa tukiaseman sijaintia. Yleensä koneohjausta hyödyntävälle työmaalle perustetaan oma kiinteä tukiasema, jota hyödynnetään koneohjauksessa. Toisena vaihtoehtona on käyttää VRS-korjausta (*virtual reference station*), kuten Leican Smartnetiä tai Trimblen Trimnetiä, jotka luovat virtuaalisen tukiaseman omien kiinteiden tukiasemiensa perusteella. Tästä virtuaalisesta tukiasemasta koneohjausjärjestelmä

saa korjauksen sijaintiinsa. Koneohjausjärjestelmä laskee koneen sijaintitiedon ja koneen eri osiin sijoitettujen tarkkojen asento- ja kiihtyvyysantureiden avulla koneen työvälineelle tarkan sijainnin sekä asennon.

Koneohjausjärjestelmästä ei itsessään ole juurikaan hyötyä ilman koneohjausmalleja tai mittausaineistoja. Koneohjausjärjestelmään yleisesti ladattavia aineistoja ovat kolmioverkkopintamallit, piste- ja linjamaiset mittausaineistot sekä erilaiset taustakartat. Kolmioverkkopintamalleilla ohjataan lähinnä kaivuu- ja täyttötasoja sekä niiden sijainteja. Kuviossa 1 on esitetty kolmiverkkopintamalli, jossa punaisella näkyvät mallin muodostamiseen käytetyt taiteviivat. Kuviossa ovat myös havaittavissa taiteviivoilla sijaitsevat pisteet, joiden välille kolmioverkon kolmiot muodostuvat. Pistemäisenä koneohjausaineistona ilmoitetaan esimerkiksi kaivojen, valaisinpylväiden ja liikennemerkkien sijainteja. Linjamaista aineistoa voivat olla väylän mittalinjat, asfaltinreunat, putkilinjat ja karotitettut kaapelit. Taustakartoissa voi olla esimerkiksi alueen suunnitelmakartta, kantakartta tai jotain muita tausta-aineistoja, jotka työnjohto tai mittaushenkilöstö on kokenut aiheelliseksi laittaa opastamaan koneenkuljettajia.



Kuvio 1. Kolmioverkkopintamalli

Koneohjausjärjestelmiä valmistaa ja myy maailmanlaajuisesti usea eri yritys. Suomessa eniten käytössä on Leica Geosystems ja Novatronin järjestelmiä, mutta pienemmillä markkinaosuuksilla ovat mukana myös Trimble ja Topcon.

(Kaivosoja 2018.) Muita Suomessa markkinoilla olevia koneohjausjärjestelmiä ovat XL Pro, DigPilot ja Prolecín Digmaster Pro (Laukkanen & Sammatti 2017, 95–96).

3.2 YIV2015

Tietomallipohjaisten infrahankkeiden yleistyessä Suomessa syntyi tarve yhteisille toimintamalleille ja ohjeistuksille, jotta sekä tilaajilla että palveluntarjoajilla olisi yhtenäinen näkemys hankkeiden eri vaiheiden mallintamisesta ja niihin liittyvistä seikoista. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta BuildingSMART Finland julkaisi vuonna 2015 yleiset inframallivaatimukset (YIV2015). Tämä on monen eri toimijan yhteistyöstä syntynyt ohjeistus tietomallipohjaisiin infrahankkeisiin. BuildingSMART Finlandissa on mukana paljon eri organisaatioita tilaajien, urakoitsijoiden, suunnittelijoiden sekä ohjelmisto- ja laitevalmistajien ryhmistä. (BuildingSMART Finland 2018.)

Tähän mennessä käyttöön hyväksytyjä YIV2015-ohjeita ovat:

1. Tietomallipohjainen hanke
2. Yleiset mallinnusvaatimukset
3. Lähtötiedot
4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa
 - 5.1 Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällyys- ja pintarakenteet
 - 5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin laadintaohje
 - 5.3 Maarakennustöiden toteumamallin laadintaohje
- 6.1 Järjestelmät
- 7.1 Rakennustekniset rakennusosat
8. Inframallin laadunvarmistus
9. Määrälaskenta, kustannusarviot
10. Havainnollistaminen
 - 11.1 Inframallinnus päällysteiden korjaamisessa
 - 12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä

(BuildingSMART Finland 2018.)

Yleisten inframallivaatimuksien ohjeita kehitetään ja täydennetään jatkuvasti vastaamaan tämän hetken tarpeita. Myös ohjeiden julkaisutapaa kehitetään sellaiseksi, että se mahdollistaa palautteen keräämisen, päivityksen ja eri käyttäjäryhmien palvelun. (BuildingSMART Finland 2017a.)

3.3 Tietomallit infrahankkeissa

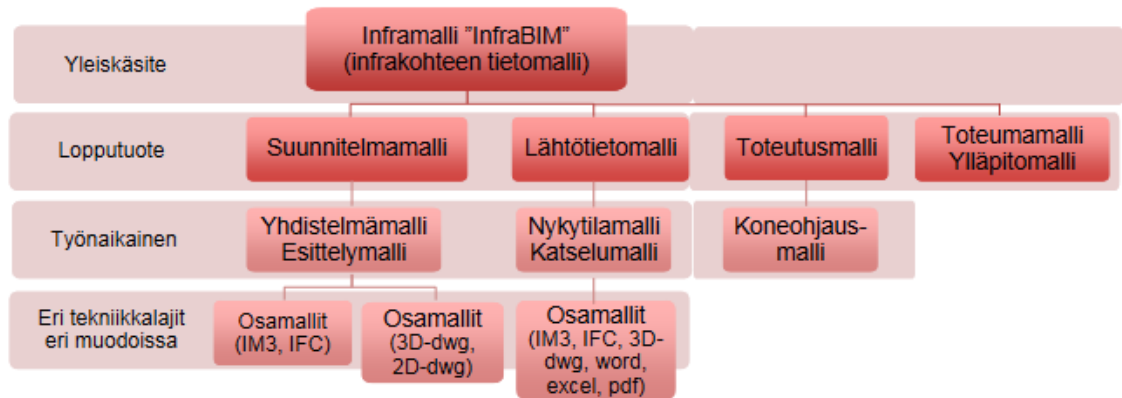
Infra-alalla tietomallinnuksen kautta saavutetaan paljon samoja hyötyjä kuin talorakennusalallakin. Rakennuksen tietomallin lailla inframallissa kaikki saatavilla oleva tieto tietylle hankkeelle on tallennettu keskitetysti ja tietoa päivitetään jatkuvasti. Koska kaikki jo olemassa oleva tieto hankkeesta on kaikkien saatavilla, vältetään moninkertaiselta tiedon keräämiseltä. (Puuperä 2015, 18.) Urakoitsijan ei esimerkiksi tarvitse enää erikseen kartoittaa suunnittelun lähtökohtana olevaa maanpintaa omaa massaseurantaansa varten.

Rakennustietosäätöön koordinoima BuildingSmart Finland Infra -toimialaryhmä vie käytäntöön ja jalostaa infra-alan tietomallien tutkimus- ja kehityshankkeiden tuloksia. Toimialaryhmässä on mukana noin viisikymmentä infra-alan organisaatiota, ja eri työryhmien toimintaan osallistuu noin sata henkilöä. Toimialaryhmän myötä on syntynyt INFRA 2025 -visio. Visiossa on tavoitteena saada vuoteen 2025 mennessä kaikki infra-alan suunnittelu- ja tuotantoprosessit kauttaaltaan digitalisoitua. (Salmi & Salminen 2015, 4, 13.)

Suurena vaikuttajana infran tietomallintamisen käyttöönotossa on ollut Liikennevirasto. Liikennevirasto on kirjannut tietomallintamisen jopa tulostavoitteisiinsa – tarkoituksena on toteuttaa pääosa Liikenneviraston hankkeista tietomallipohjaisesti. Tietomallintaminen on tärkeää erityisesti haastavissa hankkeissa, sillä avoin tiedonhallinta ja -siirto ovat välttämättömiä hankkeiden onnistumisen kannalta. Liikennevirasto myös jatkuvasti kehittää ja täsmentää mallinnukseen liittyvää ohjeistustaan yhteistyössä muiden infra-alan toimijoiden kanssa. (Salmi & Salminen 2015, 5.) BuildingSMART Finlandin toiminnassa mukana olevia ja infran tietomallintamista hyödyntäviä suuria tilaajaorganisaatioita Liikenneviraston lisäksi ovat esimerkiksi Helsingin, Järvenpään, Oulun, Tampereen, Espoon, Vantaan ja Turun kaupungit (BuildingSmart Finland 2017b).

3.4 Inframallin osat

Infra-alalla käytetään tietyn kohteen tietomallista termiä inframalli. Inframalli koostuu kaikista infrakohteen elinkaaren aikaisista tietomalleista. (Kylmälä 2015, 22.) Inframallin osat ovat esitettynä kuviossa 2.



Kuvio 2. Inframallin osat (Kylmälä 2015, 22)

Lähtötietomalli on kokoelma tietoa hankkeen suunnittelun ja toteutuksen tueksi. Siihen kerätään eri tietolähteistä kohteeseen liittyviä tietoja, kuten maastomalli, kaavamalli, maaperämalli ja nykyiset rakenteet, sekä viiteaineistoa kuten viranomaisluvat ja päätökset. Lähtötietomallia myös päivitetään ja täydennetään jatkuvasti hankkeen edetessä esimerkiksi esille tulevien uusien tietojen, mittaus-ten ja tutkimusten perusteella. YIV2015-mukainen lähtötietomalli on myös tietynlainen tapa koota, muokata ja hallita lähtöaineistoa. Lähtötietomallin mahdollisimman aikainen tuottaminen hankkeen alussa edesauttaa suunnitelmamallin tuottamista, koska tällöin suunnittelijoilla on välittömästi käytössään kattavat taustatiedot suunnittelua varten. Lähtötietomallin perusteella saadaan tuotettua nykytilamalli, joka kuvaa kohteen nykyistä tilaa sellaisena kuin se tarkasteluhetkellä todellisuudessa on. Lähtötietomallista voidaan myös muodostaa katselumalli, jota voidaan tutkia. (Liukas & Virtanen 2015, 4.)

Suunnitelmamalli koostuu yleensä useista osamalleista joiden sisältö, tarkkuus-taso ja määrä riippuvat suuresti hankkeesta. Suunnitelmamallin jaottelu osamal-leihin selkeyttää työskentelyä ja helpottaa vastualueiden jakoa. Osamallit pyri-tään jakamaan tekniikkalajeittain ja siten, että myös suunnittelijat vastaavat omien suunnitelmiensa mallintamisesta. Osamalleja voivat olla esimerkiksi väy-

lämälli, pohjarakennus, kuivatus, johdot ja laitteet, työnaikaiset rakenteet, sillat, valaistus tai liikenteenohjaus. Infrahankkeessa pohjana kaikkien muiden tekniikkalajien suunnittelulle toimii yleensä väyläsuunnittelijan ylläpitämä väylämalli. (Janhunen, Parantala & Pienimäki 2015, 4, 7.) Suunnitelmamallista luodaan suunnittelutyönaikaisia yhdistelmämallia, joiden avulla on helpompi tarkastella suunnitelmia virheiden, törmäysten ja muiden ongelmien varalta. Valmiista yhdistelmämallista voidaan edelleen luoda esittelymalli havainnollistamaan hanketta ja suunnitelmia tilaajalle sekä muille sidosryhmille. (Kylmälä 2015, 23.)

Toteutusmalli on hankkeen käytännön toteutusta varten suunnitelmamallin pohjalta jalostettu malli. Toteutusmalleja ovat kaikki rakentamisen ohjaukseen tuotetut mallit, kuten koneohjausmallit ja mittauksia varten tuotetut mallit. Tavoitteena olisi, että suunnitelmamalli olisi suoraan tuotannossa käytettävä toteutusmalli. (Mäkinen, Parkkari & Tieaho 2016, 11.)

Toteumamalli on rakentamisen jälkeen tuotettu malli, jossa on esitettyä toteutuneet rakenteet ja järjestelmät. Tavoitetilanteessa toteumamalli on sama kuin toteutusmallikin. Mikäli toteutusmallista on kuitenkin poikettu, toteutusmallit tulee korjata toteumamalliin todellisen toteutuneen rakenteen mukaan. Toteumamallin tiedon tulee aina perustua mitattuun tietoon. Pidemmällä aikavälillä ajateltaessa esimerkiksi saneeraustarpeiden synnyttyä, toteumamallia käytetään saneerauksen suunnittelun lähtötietomallissa. Toteumamallin perusteella tuotetaan myös ylläpitomalli, johon on kerätty infrarakenteiden ja järjestelmien ylläpitäjän tarvitsemat tiedot. (Mäkinen ym. 2016, 12.)

Toteutusmallin perusteella hankkeesta voidaan myös luoda niin sanottu 4D-tietomalli, josta ilmenee esimerkiksi aikataulujen, vaiheistuksien ja liikennejärjestelyjen avulla, miten kohde rakennetaan (Kylmälä 2015, 23). 4D-tietomallissa on toteutusmallin objekteihin linkitetty aika. Lisätyn aika-aspektin avulla voidaan esimerkiksi kuvata, missä järjestyksessä ja milloin rakenteet rakennetaan tai asennetaan. Tällä tavoin voidaan simuloida rakentamisen etenemistä ajassa. (Serén 2014, 12.)

3.5 Tiedonsiirtoformaatit

3.5.1 IFC (*industry foundation classes*)

IFC-standardi on tietomallintamisessa pääosin rakennusalan käytössä oleva tiedonsiirtoformaatti. IFC määrittelee tavan siirtää kolmiulotteista tuotetietoa eri toimijoiden ja ohjelmien välillä ilman, että tiedostomuoto on sidottu johonkin tiettyyn tietokoneohjelmaan. IFC-standardi on laajalti käytössä rakennusten, siltojen ja laitosten tietomallintamisessa. (Anttonen 2008, 24.)

BuildingSMART International määrittelee, että pitkän tähtäimen suunnitelmana on infrarakentamisen tiedonsiirtomuodoksi laajennettu IFC-formaatti, joka tulisi tukemaan infrarakentamisen tarpeita. Toistaiseksi infrarakentamisen tiedonsiirtoformaattina käytetään kuitenkin LandXML-formaattia, koska laajennettu IFC-formaatti ei ole vielä valmis. (BuildingSMART International.)

3.5.2 LandXML

LandXML on standardisoitu avoin tiedonsiirtoformaatti, joka on kehitetty erityisesti infrarakentamisen ja maanmittauksen käyttöön. LandXML julkaistiin vuonna 2000, ja sen tarkoituksena on toimia suunnittelutiedon siirron, pitkäaikaisen tiedon arkistoinnin sekä elektronisen suunnitelma-aineiston esitystavan standardina. Tällä hetkellä käytössä oleva LandXML v1.2 -formaatti on vuonna 2008 käyttöön hyväksytty ja standardisoitu versio. Vuonna 2014 LandXML-formaatista on julkaistu toimiva luonnosversio 2.0, jolle useimmat ohjelmistovalmistajat ovatkin jo luoneet tuen ohjelmistoihinsa. (LandXML.org 2017.)

LandXML-tiedonsiirtoformaatti perustuu XML- eli *extensible markup language* -standardiin. XML itsessään ei tee mitään, vaan se on vain tietoa järjesteltynä eri tunnisteiden alle. XML-tiedosto tarvitsee aina jonkin ohjelman, jolla lähettää, vastaanottaa, varastoida tai näyttää tiedoston sisältö. (W3Schools.com.) XML-standardin taustalla on W3C eli World Wide Web Consortium, jonka pääasiallinen tarkoitus on luoda protokollia ja ohjeita internetin pitkäaikaista kasvua aja-

tellen. W3C:n standardit määrittelevät avainasioita, jotka saavat internetin toimimaan. (World Wide Web Consortium.)

XML-skeema on sääntöjoukko, joka määrittelee XML-dokumentin rakenteen. Skeeman tarkoituksena on määritellä XML-dokumentin sisällöstä, mitä elementtejä ja tietueita dokumentti voi sisältää sekä mitä ja millaista tietoa nämä elementit ja tietueet sisältävät. (W3Schools.com.) LandXML-tiedostonsiirtoformaattien eri versiot ovat tällaisia XML-skeemoja. Kuviossa 3 näkyy hyvin pieni osa LandXML v2.0 -skeemasta. Kyseessä on sääntö, jolla määritellään, miten LandXML v2.0:ssa ilmoitetaan kahden pinnan välisten masalaskentojen tulokset. (LandXML.org 2017.)

```

- <xs:element name="SurfVolume">
  - <xs:annotation>
    <xs:documentation>volume calculation results between two surfaces</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  - <xs:complexType>
    - <xs:sequence>
      <xs:element ref="Feature" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
    <xs:attribute name="surfBase" type="surfaceNameRef" use="required"/>
    <xs:attribute name="surfCompare" type="surfaceNameRef" use="required"/>
    <xs:attribute name="volCut" type="xs:double" use="required"/>
    <xs:attribute name="volFill" type="xs:double" use="required"/>
    <xs:attribute name="volTotal" type="xs:double" use="required"/>
    <xs:attribute name="desc" type="xs:string"/>
    <xs:attribute name="name" type="xs:string"/>
  </xs:complexType>
</xs:element>

```

Kuvio 3. Pieni osa LandXML v2.0 -skeemaa (LandXML.org 2017)

3.5.3 Inframodel3

Inframodel3 on Suomessa tällä hetkellä käytössä oleva infrarakentamisen tietomallien tiedonsiirtoformaatti. Inframodel-standardia alettiin kehittää vuonna 2001 Tekesin Infra-teknologiaohjelmaan liittyvän Inframodel-hankkeen myötä. Inframodel on käytännössä kansainvälisen LandXML v1.2 -standardin suomalaisiin tarpeisiin tehty laajennus, jossa on lisätty tarvittaviin paikkoihin rakennelaajennuksia. (Puuperä 2015, 18.) Esimerkkinä lisätyistä rakennelaajennuksista ovat vesihuoltoverkostojen kaivoille lisätyt ominaisuustiedot, joita ei varsina-

sessä LandXML-standardissa olisi mahdollista siirtää. Kuten LandXML, myös Inframodel on avoin tiedonsiirtoformaatti, joka ei ole riippuvainen suunnitteluohjelmistoista. Koska Inframodel-tiedosto on tekstimuotoinen, kuten LandXML:kin, se voidaan avata selaimessa tai tekstieditorissa ja siten tarkastella tai muokata ilman erillisiä ohjelmia. (BuildingSMART Finland 2013, 5–6.) Inframodel3-version käyttöä on vaadittu vuodesta 2014 lähtien. Inframodel3:a hyödynnetään suunnittelussa, mittauksessa, koneohjauksessa ja tarkastussovelluksissa. Suurten julkisten tilaajien vaatimus Inframodel3:n käytöstä on ollut ratkaiseva tekijä sen käyttöönotossa. Rakentaminen ja suunnittelu ovat tehostuneet yhteisen toimintatavan ja avoimen tietomallipohjaisen formaatin käytön ansiosta. (BuildingSMART Finland 2017c.)

Tavoitteena Inframodelin käytössä pidetään sitä, että koko suunnitteluhanke voitaisiin siirtää yhtenä Inframodel-tiedostona. Hankkeiden erilaiset tiedonsiirtotarpeet kuitenkin aiheuttavat sen, että tietoja joudutaan usein siirtämään osissa. Vaikka tietoja jouduttaisiin jakamaan osiin, tarkoituksena on kuitenkin, että siirrettävät tiedot olisivat suurempia kokonaisuuksia ja päällekkäisiä tietoja vältettäisiin. Suuremmissa hankkeissa siirrettäviä kokonaisuuksia ovat esimerkiksi maastomalli, maaperämallin pinnat sekä vesihuolto ja kuivatus kokonaisuutena. Siirrettäviä kokonaisuuksia ovat myös väylät, sisältäen geometriat, sekä rakennekerrosten viiva- ja pintamallit. Nämä voidaan siirtää joko yhtenä kokonaisuutena tai laajassa hankkeessa kukin väylä ja siihen liittyvä aineisto voidaan siirtää myös erikseen. Näiden lisäksi voidaan siirtää varusteet ja laitteet kokonaisuutena tai tekniikkalajeittain. (BuildingSMART Finland 2013, 10.)

Inframodel3 ei sisällä silta- ja muiden taitorakenteiden tietomalleja, vaan niiden siirtoon käytetään IFC-standardia. Pohjatutkimusten siirtoon käytetään Suomen geoteknisen yhdistyksen infrapohjatutkimusformaattia. Inframodel3 ei myöskään sisällä vielä kaikkia infran tietomalleissa olennaisia rakenteita tai tietoja, kuten paaluja, paalulaattoja tai pilaristabilointia, eikä liikenteenohjauksen merkkejä tai siihen liittyviä tiemerkintöjä. Tämä tiedostonsiirtoformaatti ei myöskään tue tarkkuus- ja toleranssitietoja eikä versiointia tai revisiointia tiedoston sisällä. Inframodel3 ei sisällä ominaisuustietoja materiaaleista tai maalajikerroksista

eikä myöskään varusteista, lukuun ottamatta vesihuoltoa ja kuivatusta. (BuildingSMART Finland 2013, 8.)

3.5.4 Inframodel4

Vuonna 2016 buildingSMART Finland julkaisi Inframodel4-formaatin, joka on tarkoitus saada käyttöön 1.2.2018. Liikennevirasto ja suuret kaupungit tulevat tästä lähtien edellyttämään uusissa suunnittelu- ja toteutushankkeissa Inframodel4-standardin käyttöä. Inframodel4:ään on lisätty ominaisuuksia, joita ei ollut vielä Inframodel3:ssa. Siltojen ja muiden taitorakenteiden osalta käytetään kuitenkin edelleen IFC-standardia, kuten Inframodel3:ssakin. Inframodel3:een verrattuna lisäyksenä tulee paljon uusia ominaisuustietoja, kuten maalajikerrokset maaperämallissa, rakennekerrokset, jalustat sekä kaiteet ja aidat. Muita lisäyksiä ovat esimerkiksi pintarakenteet ja niiden materiaaliominaisuudet, toteumatiedot, johto- ja kaapelireittien tilavaraukset sekä pilaristabilointi. Uusina verkkolajeina on myös lisätty kaukolämpö, kaukojäähdytys, kaasu ja jätteen putkikeräys. (BuildingSMART Finland 2017c.)

3.6 Projektin hallinta

Rakennusprojektit on nykyään sidottu tiukasti aikatauluihin, ja projektien sisällä liikkuu todella suuri määrä dokumentteja, suunnitelmia ja muita digitaalisia tiedostoja projektin eri osapuolten välillä. Nykyään projekteissa käytetään projektin sisäisen tiedonsiirron apuvälineenä projektipankkeja. Projektipankki on projektin osapuolten digitaalisen aineiston, sähköisten asiakirjojen ja suunnitelmien varasto. Projektipankkiin tallennetaan aina uusimmat versiot suunnitelmista ja muista aineistoista, jolloin ne ovat välittömästi kaikkien osapuolten saatavilla ilman erikseen tapahtuvaa sähköposti- tai puhelinyhteyttä. (Oksanen 2010, 16–17.)

Tietomallipohjaisissa rakennushankkeissa korostuu reaaliaikaisen tiedonsiirron merkitys koko projektin sisällä alusta loppuun. Kaikkien suunnittelualojen viimeisimpien osamallien täytyy olla jo suunnitteluvaiheessa jatkuvasti kaikkien suunnittelijoiden saatavilla, jotta mahdollisiin törmäyksiin ja yhteensovittamisen

ongelmiin voidaan reagoida nopeasti. Urakoitsijan näkökulmasta toteutusmallien uusimpien versioiden saaminen tuotantoon mahdollisimman nopeasti on ensiarvoisen tärkeää. Tilaajan näkökulmasta tärkeää on taas päästä reaaliaikaisesti seuraamaan hankkeen edistymistä ja työn laatua urakoitsijan tekemien toteuma- ja tarkemittausten kautta.

Perinteisen projektipankin lisäksi tai sen tilalta tietomallipohjaisissa infrahankkeissa on ainakin urakoitsijan ja tilaajan kannalta hyödyllistä käyttää jotakin pilvipalvelua. Pilvipalvelun kautta voidaan reaaliaikaisesti hallinnoida ja jakaa urakoitsijan tekemiä toteuma- ja tarkemittauksia sekä päivittää työkoneisiin ja mittalaitteisiin toteutusmallin päivityksiä tai muutoksia. Voidaan ajatella esimerkiksi työmaata, jossa tilaaja vaatii päivittäisen toteuma- ja tarketietojen toimittamisen ja jossa on kuusi koneohjausta käyttävää työkonetta, takymetri ja GNSS-mittalaite. Jos toteuma- tai tarkemittauksia mitataan päivän aikana jokaisella laitteella ilman pilvipalvelua, joka on yhteydessä näihin kaikkiin laitteisiin, johtaa esimerkiksi aamulla tapahtuva toteutusmallin muutos epäkäytännölliseen tilanteeseen. Tällaisessa tapauksessa mittamies joutuu aamulla käymään muistitikun avulla syöttämässä päivitetyn aineiston kaikkiin työkoneisiin ja mittalaitteisiin, ja päivän päätteeksi hänen täytyy käydä muistitikun kanssa hakemassa jokaisesta työkoneesta ja mittalaitteesta mittaustiedot. Tämän lisäksi hänen täytyy vielä käsitellä ja ladata mittaustiedot projektipankkiin. Tällaisessa operaatiossa helposti useita tunteja mittamiehen työaikaa pelkästään tiedonsiirtoon.

Ainakin muutamilla koneohjausjärjestelmien valmistajilla on työmaan seurantaan, toteuma- ja tarketiedon tarkasteluun sekä tiedonsiirtoon omat ohjelmaratkaisut, kuten Trimble Connect, Leica ConX tai Topcon Sitelink3D. Kaikkien näiden ohjelmistoratkaisujen heikkoutena on se, etteivät ne toimi ainakaan ongelmitta muun kuin oman tuoteperheensä koneohjausjärjestelmien kanssa. Tämä aiheuttaa ongelmia, jos työmaalla on useamman valmistajan koneohjausjärjestelmiä. (Kaivosoja 2018; Toppi 2018; Topgeo Oy 2018.)

Erityisesti Suomessa työmaan ja tietomallipohjaisten infrahankkeiden hallinnoinnissa on jalansijaa saanut suomalainen Infrakit. Sen avulla voidaan seurata työkoneiden toimintaa sekä toteuma- ja tarkemittauksia reaaliaikaisesti, ja sitä

voidaan myös käyttää hankkeissa projektipankkina. Infrakitin kautta voi myös hallinnoida tietomalleja ja päivittää uusimmat mallit työkoneisiin ja mittalaitteisiin. (Kivimäki 2017.) Infrakit tukee täysin suomalaista Novatronin koneohjausjärjestelmää (Kuusela 2018). Leican, Trimblen ja Topconin järjestelmät toimivat Infrakitissä omien pilvipalveluidensa kautta. (Heikkinen 2018.)

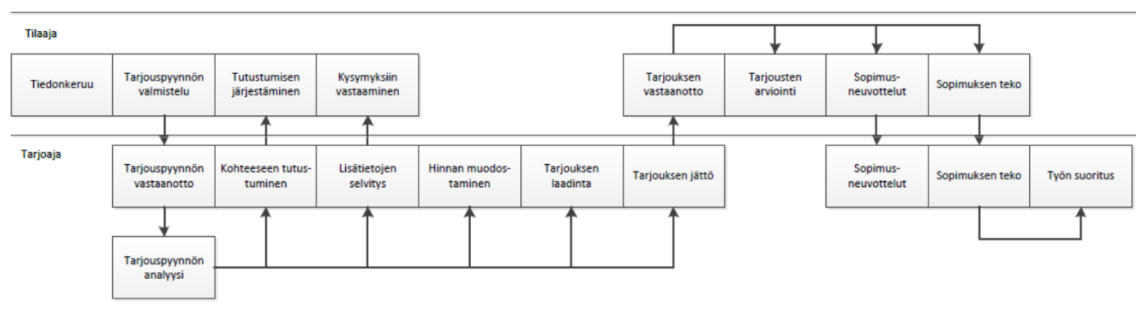
3.7 Urakkalaskenta

3.7.1 Tarjouksen muodostaminen

Tietomallipohjaisissa hankkeissa tarkoituksena on saada jo tarjouspyyntövaiheessa riittävän valmiit ja tarkat suunnitelma- tai toteutusmallit tarjouspyynnön liitteeksi, jotta tarjouslaskentaa voidaan tehdä niiden perusteella. Hankkeen tietomallin eri osien tulisi olla mallinnettu riittäväällä tarkkuudella, jotta rakennettavien rakenteiden ja massojen oikeat määrät ja laadut olisivat saatavilla suoraan tietomallista. (Ruuti, Janhunen & Pienimäki 2015, 14.)

Yksi merkittävistä tietomallipohjaisten hankkeiden hyödyistä on se, että määrätiedot muodostuvat automaattisesti mallien perusteella. Malleja tarkastelemalla voidaan myös helpommin varmistua määrätietojen oikeellisuudesta. Määrätiedot linkitetään dynaamisesti laskennassa käytettyyn malliin, jolloin voidaan määräluettelon kautta visualisoida, mistä mallin osista määrät on laskettu. (Ruuti ym. 2015, 4, 20.) Perinteisessä dokumenttipohjaisessa määrälaskennassa joudutaan manuaalisesti mittaamaan ja laskemaan suunnitelmista pinta-aloja, pituuksia, tilavuuksia ja kappalemääriä, jotta voidaan tarkastaa määräluettelossa olevia määriä. Usein myös määräluettelossa olevien määrien löytäminen suunnitelmista on hankalaa. (Honkanen 2018.) Manuaalisen laskemisen ja mittaamisen vähentyessä urakkalaskennassa jää enemmän aikaa suunnitella erilaisia työtapoja ja työjärjestyksiä, joiden kautta voidaan parantaa työtehoja, alentaa kustannuksia ja muutenkin suunnitella optimaalista rakentamista. Urakkarajojen ja -alueiden hahmottaminen helpottuu tietomallipohjaisissa hankkeissa verrattuna perinteiseen dokumenttipohjaiseen hankkeeseen, koska mallien avulla nämä rajat voidaan määrittää tarkasti ja ilman epäselvyyksiä. Myös putki-kaivantojen vaatimien tilavarausten ja massojen hahmottaminen on helpompaa,

kun urakkalaskijan ei tarvitse laskea niitä itse vesihuoltosuunnitelman vesijuoksu- ja kansikorkojen sekä luiskakaltevuuksien avulla. Tietomallin kautta urakan laskennassa helpottuu myös riskitekijöiden arviointi. Suunnitteluvaiheessa havaitut mahdolliset riskitekijät on esitettävä tietomallissa selkeästi eroteltuna varsinaisista rakenneosista. Tällaisia urakkaan vaikuttavia mahdollisia riskitekijöitä ovat esimerkiksi puutteelliset pohjatutkimustiedot, sulfidisaviesiintymät ja epävarmat massanvaihdon leikkaus- ja täyttömassojen määrät sekä niiden sijainnit. Koska tietomallien avulla voidaan etukäteen selvittää mahdollisia ongelma- ja riskikohtia, myös urakan riskivaraus pienenee. Urakoitsijan on tietomallien avulla myös helppo kysyä tarjouksia mahdollista urakkaa varten hankittavista varusteista ja rakennusmateriaaleista, koska tietomallin kautta niiden määrät, tyypit, materiaalit ja laatuvaatimukset saadaan helposti määritettyä. Kuviossa 4 on esitettyä tietomallipohjaisen hankkeen tarjousvaiheen prosessi tilaajan ja tarjoajan näkökulmasta. (Ruuti ym. 2015, 4, 15.)

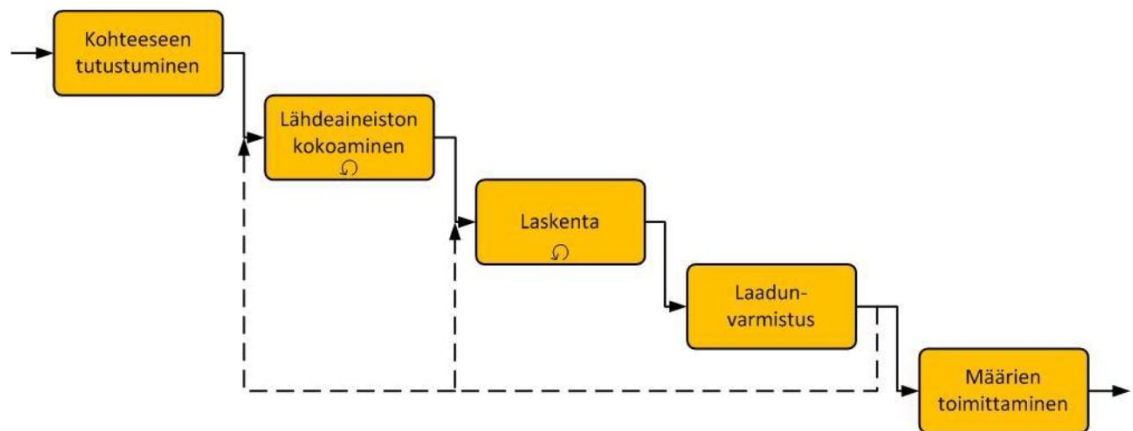


Kuvio 4. Tietomallipohjaisen hankkeen tarjousvaiheen prosessi (Ruuti ym. 2015, 15)

3.7.2 Määrälaskenta

Urakan kokonaishinnan suurimpana tekijänä on yleensä aina määrätieto. Siksi onkin ensisijaisen tärkeää, että määrät on huomioitu oikein sekä tarjouspyynnössä että tarjouksessa. Tietomallipohjaisissa hankkeissa määrälaskenta ei kuulu urakoitsijalle muissa tapauksissa kuin ST-urakoissa. Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksessä ei toteuteta ST-urakoita, mutta urakkalaskennassa on kuitenkin hyödyllistä ymmärtää tietomallipohjaisen määrälaskennan periaate. Mikäli urakoitsijan urakkalaskija huomaa mahdollisia virheitä määrissä, on helppo havaita missä mahdollinen virhe on tapahtunut, jos tietää miten määrät

on laskettu. Tietomalleista tapahtuva määrälaskentaprosessi on kuvattu kuviossa 5



Kuvio 5. Yleisten inframallivaatimusten mukainen tietomalleista tehtävä määrälaskennan prosessi (Ruuti ym. 2015, 17)

Ennen varsinaista laskentaa suoritetaan kohteeseen tutustuminen. Tietomallia tarkastelemalla voidaan helpommin sisäistää kohteen laajuus ja muut ominaispiirteet. Kohteesta kannattaa tietomallin lisäksi tutustua muihinkin materiaaleihin, kuten työselitykseen ja tietomalliselostukseen. Myös suunnittelijoiden kanssa keskusteleminen on kannattavaa. (Ruuti ym. 2015, 17.)

Ennen laskentaa täytyy koota laskennan lähdeaineisto. Laskennassa tulee varmistaa, että laskennassa käytettävistä tiedostoista on käytössä oikea versio. Mikäli laskija epäilee kuitenkin saaneensa väärän version, epäilyksestä tulee aina kertoa tilaajan edustajalle. Laskennassa käytettävän aineiston versioiden hallinta on projektissa kuitenkin aina suunnittelijoiden ja pääsuunnittelijan vastuulla. Lähtöaineiston sisältö voi vaihdella hyvinkin paljon eri hankkeiden välillä, ja siksi myös lähtöaineistosta selvitettävät asiat voivat vaihdella suuresti. Koska malli saattaa sisältää määrälaskennan ulkopuolelle jääviä rakenneosia tai varusteita, määriä ei välttämättä kuulu laskea koko mallista. Määrälaskijan tulee selvittää, mistä mallista lasketaan mitään. Lähtökohtaisesti määrälaskennassa käytetään inframodel-yhdistelmämallia, mutta on myös mahdollista, että suunnittelualoittain on käytössä muitakin laskennassa käytettäviä malleja, kuten suunnitteluohjelmien alkuperäisiä tai IFC-malleja.

Mikäli laskennassa käytetään suunnitteluohjelmistojen alkuperäismalleja, niin tulee varmistua, että tiedostot avautuvat ongelmitta laskijan ohjelmistoilla ja että aineistoista löytyvät kaikki tarvittavat objektkirjasto-osat. Mallit voivat myös jakautua useampaan osamalliin, jolloin on otettava huomioon kaikki oleelliset osamallit. Kaikki määrätiedot eivät välttämättä ole suoraan saatavilla mallista, vaan osa on laskettava muilla menetelmillä. Myös mallinnuksen tarkkuustasoilla on merkitystä määrälaskennassa, joten on selvitettävä, onko koko malli mallinnettu samalla tarkkuustasolla. Työselostuksesta tulee seurata, että esimerkiksi rakennetyypit ovat samat mallissa ja työselostuksessa. Kaikkien sovittujen muutosten tulisi olla kirjattuna työselostukseen, sillä ei voida olettaa, että määrälaskija selvittää muutoksia muuta kautta. Edellisten määrälaskentojen laskennassa käytetyistä malleista ja rakennusselostuksista tulee selvittää eroavaisuudet nykyisen laskennan malleihin ja rakennusselostuksiin. (Ruuti ym. 2015, 18.)

Määrälaskennan tuloksia analysoidaan sen suhteen, kuinka kattavia, tarkkoja ja luotettavia tulokset ovat, sekä sisältääkö laskenta kaikki mukana olleet nimikkeet. Laskennassa käytetyt rakennusosat visualisoidaan malliin laskennan kattavuuden arvioimiseksi, ja tätä verrataan esimerkiksi mallin piirustuksiin. Luotettavuutta arvioidaan lähtötietojen, laskentamenetelmien, laskelmassa tehtyjen oletuksien ja täydennyksien sekä muiden laskenta-aineistojen suhteen. Tärkeää on myös huomioida, että määrälaskennan tulokset liittyvät lähtöaineistoon. Mikäli määräluetteloiden kautta johdetaan edelleen uusia tietoja, on nämä liitettävä selkeästi alkuperäiseen pakettiin. Tällaiset johdetut tiedot eivät enää välttämättä tarjoa oikeaa tietoa, kun ne on irrotettu lähtöaineistosta tai siirretty johonkin muuhun yhteyteen. (Ruuti ym. 2015, 20.)

Suunnittelijoiden kautta tulevassa määräluettelossa tulee olla mukana määrälaskentaselostus, johon on eritelty kaikki pinnat ja objektit, joiden perusteella määrät on laskettu. Määrälaskentaselostuksessa tulee myös ilmoittaa määrälaskennan vastuuhenkilö sekä käytetty ohjelmisto ja sen versio. (Ruuti ym. 2015, 19.)

3.8 Työnjohto

Tietomallipohjaisiin infrahankkeisiin siirryttäessä työnjohtoon vaikuttavat enimmäkseen erilaisten apuvälineiden kautta tulevat työtä helpottavat ja tehostavat asiat. Tietomallintamisen myötä työmaalla syntyy säästöjä mittausten helpottamisen sekä koneiden käyttökustannusten alenemisen ja koneiden käyttöasteen paranemisen myötä. Samalla projektien kestot lyhenevät, laatudokumentointi helpottuu ja nopeutuu sekä aikataulujen luominen helpottuu. (Puuperä 2015, 19.) Kun kaikki rakennettavat rakenteet on mallinnettu oikein ja riittävällä tarkkuudella, työnjohdolle jää paremmin aikaa keskittyä työjärjestyksen ja työtapojen suunnitteluun sekä mahdollisten ongelmakohtien ratkaisemiseen. Tällöin työnjohto pystyy paremmin optimoimaan rakentamisen tehokkuutta. Mallintamisen kautta ongelmakohtien havaitseminen helpottuu, jolloin ongelmien ratkaisemisen voi aloittaa hyvissä ajoin eikä vasta rakentamisen yhteydessä. Mallintamisen myötä suunnitelmissa olevat virheet ja puutteet ovat myös vähentyneet (Puuperä 2015, 19). Työmaan massojen seuraaminen tehostuu, ja erityisesti aikataulujen osalta urakan edistymistä on helpompi seurata kuin perinteisellä dokumenttipohjaisella työmaalla. Aikataulujen ja työjärjestyksen osalta työ helpottuu vielä entisestään, mikäli hankkeesta on laadittu täydellinen 4D-tietomalli.

Usein työnjohdon aikaa kuluu paljon suunnitelmien ja työselostuksen sisältöjen tulkitsemiseen ja selittämiseen työtä suorittaville henkilöille. Tietomallipohjaisella työmaalla tämä suunnitelmien tulkitseminen jää ainakin osittain pois, sillä esimerkiksi leikkauksia väylän rakenteista voi katsella mistä tahansa kohtaa väylää. Dokumenttipohjaisen suunnittelun suunnitelmista on väyläkohtaisesti usein saatavilla vain pituusleikkaukset ja tyyppipoikkileikkauksia tai poikkileikkauksuvia minimissään 20 metrin välein. Tällaisten leikkauskuvien kautta on hankalaa havainnoida tarkasti esimerkiksi liittymien rakenteita ja rakennekerrosten muutoskohtia. Mallintamisen kautta on myös helpompi hahmottaa esimerkiksi putkien alle suunniteltuja arinoita, massanvaihtoja tai kaivantoja sekä erilaisten rakenteiden, laitteiden ja kaivantojen tilavarauksia.

Projektinhallintatyökaluilla on mahdollista reaaliaikaisesti seurata työmaalla työskentelevien koneiden sijainteja ja sitä, mikä malli missäkin koneessa on sillä

hetkellä käytössä. Tällä tavoin työnjohto pystyy paikallistamaan, mitä rakennetta milläkin väylällä rakennetaan, sekä missä kohti väylää rakentaminen tapahtuu. Tämän lisäksi mahdollista on myös työkonien työtehojen seuranta. Projektin hallintatyökalujen kautta voi lisäksi seurata toteuma- ja tarkemittausten vaatimustenmukaisuutta ja tätä kautta myös valmiiden rakennekerrosten rakentamisen etenemistä (Sjöman 2018).

Tietomallintamisen ja projektinhallintatyökalujen avulla työnjohdolla on työmaalla liikuttaessa reaaliaikaisesti saatavilla kaikki suunnitelmatieto tabletti- tai älypuhelinsovelluksen kautta. Laitteiden GNSS-paikannuksen kautta työnjohdon on helppo hahmottaa oma sijainti maastossa suhteessa suunnitelma-aineistoon. Dokumenttipohjaisessa hankkeessa on mahdollista, että työnjohto joutuu kesken työmaakierroksen käymään työmaatoimistossa tarkastelemaan suunnitelmia. Tabletti- ja älypuhelinsovellusten avulla välimatkojen ja pinta-alojen mittaaminen suunnitelma-aineistosta paikan päällä on nopeaa. Tällaiset sovellukset mahdollistavat myös sijaintiin sidotun valokuvauksen työmaasta, työvaiheista ja rakennetuista rakenteista. (Sjöman 2018.)

Työmaan laatudokumentoinnin voi hoitaa kokonaisuudessaan esimerkiksi Infrakitin kautta. Laatuaineiston voi liittää Infrakit-projektin laatuvälilehdelle ilman, että erilliselle projektipankille on välttämättä tarvetta. (Arffman 2018.) Esimerkiksi kantavuus- ja tiiveyskokeiden tulokset voi ilmoittaa paikkaan sidotusti pdf -liitteinä Infrakitissä, samoin kuin valokuvatkin (Sjöman 2018). Työnjohdon tehtäviin kuuluu yhdessä mittaushenkilöstön kanssa seurata koneenkuljettajien tekemien toteumamittausten toteutumista ja tarvittaessa ohjeistaa mittauksessa (Arffman 2018; Sjöman 2018).

3.9 Mittaus

Työmaahan liittyvissä mittauksissa on tapahtunut muutos jo yksin koneohjausjärjestelmien yleistymisen myötä. Ennen koneohjausjärjestelmiä väylien, kaivojen ja melkein kaikkien muiden rakenteiden merkitsemiseen käytettiin mittakepejä ja korkolappuja. Mittamiehen työnkuvaan kuului hyvin paljon näiden mitta-

keppien ja korkolappujen paikalleen mittaamista ja jo rakennettujen rakenteiden tarkemittausta. Koneohjausjärjestelmien yleistymisen myötä mittamiehen toimenkuva on muuttunut enemmän tietokoneella työskentelyksi. Suuren osan ajasta mittamies huolehtii koneohjausjärjestelmien ja niiden vaatimien mallien toimivuudesta. Koneohjausjärjestelmien myötä myös koneenkuljettajat ovat voineet tehdä osan toteumamittauksista. Erityisesti vähemmän tarkkuutta vaativien väyliä rakennekerrosten, kuten leikkauksen, suodatin- ja jakavan kerroksen toteumamittaukset on voitu tehdä koneohjausta hyödyntäen. Myös tarve mittamiehen tekemälle paikallimitaukselle on vähentynyt koneohjausjärjestelmien ansiosta, koska vähemmän mittatarkkojen rakenteiden paikallimitauksessa voidaan hyödyntää koneohjausta.

Tietomallipohjaisten hankkeiden myötä mittamiehen toimenkuva tulee muuttumaan vielä lisää. Mittaustyönjohtajasta tulee tavallaan laativastaava: Hän valvoo työkoneiden koneohjausjärjestelmien toimintaa ja niiden tekemien toteumamittausten toleransseja sekä tekee ajoittain tarkemittauksia. Vesihuollon sekä profilointikerrosten sekä valmiiden pintarakenteiden mittaukset tulevat kuitenkin edelleen kuulumaan mittamiehen tehtäviin. Myös tarkat rakenteiden paikallimitaukset, kuten reunatuet ja niiden viereen tulevat kaivojen kannet, tulee suorittaa koneohjausjärjestelmiä tarkemmilla mittausmenetelmillä.

3.9.1 Mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä

Mallipohjaisella laadunvarmistuksella tarkoitetaan maarakentamisessa tietomallipohjaisen hankkeen työnaikaista laadunvarmistusta. Menetelmän edellytyksenä on, että työn tekemiseen käytetään koneohjausta. Mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä tuottaa laatu- ja toteumatietoa hankkeen eri maarakenteista ja niiden geometrisista mitoista koko hankkeen rakentamisen ajan. Tavoitteena menetelmällä on varmistaa, että rakenteet on tehty oikein ja täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset. (Jaakkola 2015, 3–4.)

Mallipohjaisen laadunvarmistusmenetelmän käyttöönotto ja sen toimiminen suunnitellulla tavalla vaatii useiden eri asioiden toteutumista. Jotta menetelmä voidaan ottaa käyttöön, täytyy maarakennustöiden toteutusmallien olla laadittu

YIV2015:n mukaisesti ja koneohjausta hyödyntävien työkoneiden tarkkuuden täyttää rakennettavan maarakenteen koneohjaukselta vaaditut tarkkuudet. Myös työmaan mittauksista tai työkoneautomaatiosta vastaavalla henkilöllä täytyy olla riittävä koulutus ja kokemus. Mittauksista tai koneohjauksesta vastaavalla henkilöllä tulee olla vähintään maanmittausalan ammatillinen tutkinto. Tutkinnon lisäksi hänellä täytyy olla vähintään kahden vuoden kokemus työkoneiden 3D-ohjausjärjestelmistä, toteutusmallien tarkastamisesta ja mallintamisesta sekä satelliitti- ja takymetripaikannuksesta. (Jaakkola 2015, 3–4.) Muita käytännön asioita, joita menetelmän toimiminen vaatii, käsitellään seuraavissa luvuissa 3.9.2–3.10.

3.9.2 Toteutusmallien tarkastaminen

Työmaan mittausvastaavan tulee tarkastaa toteutusmallien tietosisältö hyvissä ajoin ennen kuin rakentaminen aloitetaan. Vaikka toteutusmalli onkin jo aiemmin käynyt läpi suunnittelijaosapuolen itselleluovutuksen sekä tilaajan tai tilaajan konsultin tarkastuksen, malli ei välttämättä kuitenkaan ole täydellinen ja virheetön. Tietomallin läpikäyminen on erityisen tärkeää erityisesti paikallemittauksen ja koneohjausmallien osalta. Jos aineistoon on jäänyt virheitä tai puutteita, asiaan reagoiminen tässä vaiheessa saattaa säästää paljonkin työaikaa ja materiaaleja. Mikäli mahdolliset virheet huomataan vasta, kun itse kohteen rakentaminen on jo käynnissä, tai vielä huonommassa tapauksessa rakentamisen jälkeen, voivat virheiden korjaamiset tai mahdolliset muutostyöt olla hyvin kalliita ja aikaa vieviä.

Suunnittelijan tekemät toteutusmallit eivät välttämättä ole sellaisia, joita urakoitsija voi hyödyntää kaikkialla. Työmaan koneohjausmalleista vastaava henkilö voi joutua muokkaamaan malleja urakoitsijalle sopivammiksi työteknisistä syistä ja suodattamaan tai muokkaamaan tiedostoja koneenkuljettajille tai koneohjausjärjestelmille sopivammiksi. Esimerkkinä voidaan käyttää tiehöylän koneohjausmalleja, joissa normaali kolmioverkkomalli ei välttämättä toimi täydellisesti lopputuloksen kannalta. Urakoitsijan muokkaamat toteutusmallit tulee kuitenkin tarkastaa siten, että niiden geometria vastaa kaikilta osin suunniteltua rakennetta. Jos urakoitsijan tekemään toteutusmalliin jää suunnitelmista eroavia poik-

keamia, tulee mallit hyväksyttää tilaajalla ja poikkeamat perusteluineen kirjata sisäiseen tarkastusdokumenttiin. (Mäkinen ym. 2016, 11–12.)

Toteutusmallien tarkastamiseen ei ainakaan toistaiseksi ole olemassa niin sanottua virallista toimintaohjetta, jonka mukaan mallit tulisi tarkastaa. YIV2015 kuitenkin määrittelee, mitkä asiat toteutusmalleista tulee tarkastaa ja dokumentoida. Erityisesti toteutusmalliselostus on syytä käydä huolella lävitse. Toteutusmalliselostuksesta tulee tarkastaa kaikki siinä mainitut poikkeamat toteutusmalleissa. Mikäli poikkeamat ovat oleellisia mallien tuotantoon siirtämisen kannalta, tulee tarvittaessa pyytää suunnittelijoilta täydennyksiä aineistoon. Kaikista malleista tulee tarkastaa, että ne ovat samassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä kuin työmaan mittausperusta. Mallien kattavuus tulee tarkastaa kaikkien rakenneosien osalta ja varmistaa, että kaikki tarvittavat rakenneosat on mallinnettu. Jos malleissa on pieniä puutteita, joihin ei tarvita suunnittelijalta lisätietoa, täydennetään mallit puutteiden osalta. Lisäksi tulee tarkastaa, ettei malleissa ole ylimääräisiä pisteitä, mallinosia tai taiteviivoja ja poistaa niistä mahdolliset ylimääräiset objektit. Mallien taiteviivoista on myös tarkastettava, että kaikki taiteviivat ovat jatkuvia eikä niissä ole niin sanottuja kaksoispisteitä eli useampia pisteitä samassa sijainnissa. Työturvallisuuden näkökulmasta tulee yhdessä työnjohdon kanssa katsoa toteutusmalleista läpi kohdat, joissa voi olla työturvallisuutta vaarantavia luiskia, rakenteita tai muita elementtejä. Toteutusmallit tulee myös tarvittaessa muuntaa koneohjausjärjestelmien käyttämään formaattiin. Urakoitsijan mallien tarkastuksesta vastuussa olevan henkilön tulee dokumentoida tarkastuksesta havaitut suunnitelmavirheet ja toteutusmalleihin tehtyt oleelliset muutokset tarkastusraporttiin. (Jaakkola 2015, 5.) Urakoitsija luovuttaa tilaajalle toteutusmallien tarkastusraportit ja lopulliset tuotannossa käytetyt toteutusmallit osana laatuaineistoa (Jaakkola 2015, 10).

3.9.3 Tukiaseman ja koneohjausjärjestelmien tarkkuuden seuranta ja dokumentointi

Koko hankkeen lopputuloksen ja mallipohjaisen laadunvarmistuksen kannalta on tärkeää, että työkoneiden ohjausjärjestelmät ovat riittävän tarkkoja ja että paikallinen tukiasema on alustettuna tarkasti oikeaan sijaintiin. Mikäli tukiasema

on jostain syystä siirtynyt eikä sitä ole alustettu uudelleen, niin käytännössä koko työmaan koneohjauksella toteutettava mittausta on siirtynyt tukiaseman mukana. Työmaalla toimiville henkilöille on jo perehdytyksen yhteydessä kerrottava, ettei tukiasemaa saa siirtää ilman mittaushenkilöstön lupaa. Mikäli tukiasema on vahingossa siirtynyt tai sen siirtymisestä on edes epäily, täytyy asiasta ilmoittaa välittömästi mittaushenkilöstölle tai työnjohdolle. Tukiasema on usein kiinnitettyä erilliseen pieneen merikonttiin tai työmaaparakkiin, jolloin on mahdollista, että siihen osutaan ja se siirtyy esimerkiksi tehtäessä lumitöitä koneellisesti. Tällaisessa tilanteessa tukiasema tulisi mahdollisimman pian sammuttaa ja alustaa uudelleen, jotta työkoneet eivät ehdi tehdä mitään rakenteita väärään sijaintiin. Talvella myös maan routiminen voi vaikuttaa tukiaseman sijainnin muuttumiseen, jos tukiasema on sijoitettu edellä mainituilla tavoilla. Tukiaseman sijaintia tuleekin seurata säännöllisin väliajoin.

Yleiset inframallivaatimukset 2015 määrittelevät tukiaseman sijainnin ja sen toiminnan tarkastuksesta seuraavaa: Tukiaseman sijainti tarkastetaan kerran kuukaudessa takymetrimittauksella sekä aina, kun epäillään, että sijainti on mahdollisesti voinut muuttua. Lisäksi tukiaseman sijaintia ja toimintaa tarkkailaan vähintään kerran viikossa GNSS-mittalaitteella, joka on yhdistettynä tukiasemaan. GNSS-mittalaitteella tarkastus suoritetaan viemällä mittalaite tunnetulle pisteelle ja mittaamalla mittalaitteen antamien koordinaattien erot tämän tunnetun pisteen XYZ-koordinaatteihin. Nämä takymetri- ja GNSS-mittaukset dokumentoidaan osaksi hankkeen laatuaineistoa. Mikäli työmaalla käytetään paikallisen tukiaseman sijasta virtuaalitikiasemaa, kuten Trimnetiä tai Smartnetiä, tarkastukset tunnetulla pisteellä tulee suorittaa ja dokumentoida vastaavalla tavalla kuin paikallista tukiasemaa käytettäessä. Tarkastusmittausten tekemisestä ja dokumentoinnista on vastuussa työmaan mittaustyönjohtaja tai muu mittauksista vastaava henkilö. (Jaakkola 2015, 6.)

Koneohjausta käyttävien työkoneiden käyttöönotosta YIV2015 määrittelee: Aina kun työmaalle tulee uusi koneohjausjärjestelmää käyttävä työkone, niin mittaushenkilöstön tulee tarkastaa koneohjausjärjestelmän toimivuus ja tarkkuus ennen kuin koneella aloitetaan tekemään töitä, joissa järjestelmää käytetään. Kaikki koneohjausjärjestelmille tehtävät tarkastukset tulee aina suorittaa sa-

massa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä kuin työmaan suunnitelma-aineisto ja koneohjausmallit ovat. (Jaakkola 2015, 6-7.) Tarkastus on hyvä myös suorittaa kaikille työkoneessa käytettäville apuvälineille, kuten erilaisille kauhoille.

Koneohjausjärjestelmien tarkkuuden jatkuvasta seurannasta määritellään YIV2015:n mukaan, että koneet, jotka tekevät suurempien toleranssien rakenteita, kuten maaleikkauksia, penkereitä tai suodatin- ja jakavia kerroksia, tulee tarkastaa kerran viikossa viemällä terä tunnetulle pisteelle tai mittaamalla terän sijainti takymetri- tai GNSS-mittauksella. Tällaisia työkoneita ovat yleensä kairinkoneet, pyöräkuormaajat ja puskutraktorit. Tarkempien toleranssien rakenteita, kuten tien kantavaa kerrosta tai radan väli- ja eristyskerroksia, tekevät koneet tulee tarkastaa kerran vuorokaudessa mittaamalla terän sijainti takymetrillä tai asettamalla terä tunnetulle pisteelle. Tällaisia koneita ovat yleensä tiehöylä, pyöräkuormaaja ja asfaltinlevitin. Työkoneiden toteutuneen työn tarkkuutta valvotaan lisäksi satunnaisin tarkistusmittauksin takymetri- tai GNSS-mittauksella. (Jaakkola 2015, 6–7.)

Kaikki edellä mainitut tarkastusmittaukset tulee dokumentoida esimerkiksi Excel-tilukoon, josta ilmenee päivämäärä, työkone tai mittalaite, tarkastajan nimi, tarkastusmenetelmä, x-, y- ja z-koordinaattien poikkeamat sekä tarkkuustiedot. Koneohjausjärjestelmiltä vaaditaan tietyt tarkkuudet eri rakenteiden rakentamiseen. Vaadittavat mittaustarkkuudet ilmenevät taulukosta 1. Taulukossa esitetyt tarkkuusvaatimukset koskevat vain koneohjausjärjestelmiltä vaadittavia tarkkuuksia. Lopputuotteelta vaadittavat laatuvaatimukset on aina asetettu InfraRYL:ssä tai tilaajan työselityksessä. (Jaakkola 2015, 4.) Mikäli tarkastuksissa saadut tarkkuudet eivät täytä tarkkuusvaatimuksia, työkoneautomaatiojärjestelmä täytyy kalibroida (Jaakkola 2015, 6).

Taulukko 1. Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava mittaustarkkuus millimetreinä (mukaillen Jaakkola 2015, 4)

Rakennusosa	Sijainti x-, y-suunnassa	Sijainti z-suunnassa
Maaleikkaus, maa- tai louhepengeri (tie- ja ratarakenteissa)	± 100	± 30
Suodatinkerros (tie- ja ratarakenteissa)	± 100	± 30
Jakava kerros (tierakenteissa)	± 100	± 30
Kantava kerros (tierakenteissa)	± 50	± 20
Eristyskerroksen yläpinta (ratarakenteissa)	± 50	± 20
Välikerroksen yläpinta (ratarakenteissa)	± 50	± 20

Työkoneiden koneohjausjärjestelmien tarkastusmittaukset ovat koneenkuljettajien ja mittauksista vastaavan henkilön vastuulla. Työnjohdon täytyy kuitenkin olla tietoinen mittausten toteutumisesta ja tuloksista. Sekä koneohjausjärjestelmien että tukiasemaan liittyvien tarkastusmittausten tulosten dokumentit ovat osa tietomallipohjaisen hankkeen tilaajalle luovutettavaa laatuaineistoa. (Jaakkola 2015, 6–7.)

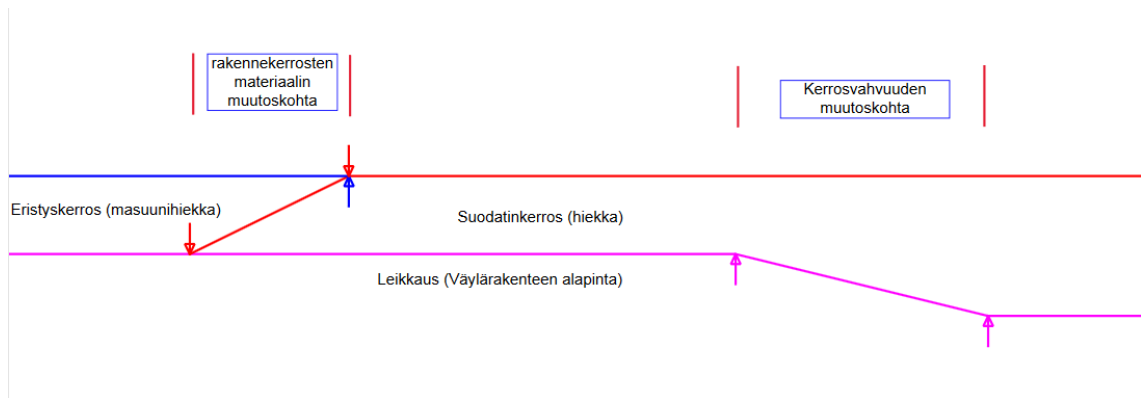
3.9.4 Toteuma- ja tarkemittaukset sekä niiden dokumentointi

Rakentamisen aikana väylien rakennekerroksista tehdään toteuma- ja tarkemittauksia. Toteumamittaukset ovat koneohjausjärjestelmällä otettuja mittauspisteitä rakennetuista rakenteista. Tarkemittaukset ovat mittaushenkilöstön tekemiä takymetri- tai GNSS-mittauksia. Tarkemittauksia tien tai radan rakennekerroksista tehdään huomattavasti harvemmin kuin koneohjausjärjestelmällä tehtäviä toteumamittauksia. (Jaakkola 2015, 7–9.) Toteumamittausten mittaamista käsitellään tarkemmin luvussa 3.10.

Koneenkuljettajien perehdyttäminen toteumamittausten tekemiseen ja hankkeeseen kuuluiin toteutusmalleihin olisi hyvä sisällyttää jo työmaahan perehdyttämiseen. Yleensä työmaahan perehdyttämisestä on vastuussa työnjohto, mutta tässä samassa tilaisuudessa olisi syytä olla paikalla myös mittaustyönjohtaja tai koneautomaatiosta vastaava mittaushenkilö, joka voisi hoitaa perehdy-

tyksessä toteutusmalliin ja toteumamittaukseen liittyvien asioiden läpikäymisen. Toteumamittauksiin perehdyttämisen lisäksi mittaushenkilöstön ja työnjohdon on syytä seurata mittauksien toteutumista ja antaa tarvittaessa lisäohjeistusta. Mittaustyönjohtajan on myös hyvä laatia koneenkuljettajille työmaakohtaiset ohjeet paperille koneen ohjaamoon mukaan otettavaksi. Ohjeiden olisi hyvä selkeästi selittää, millaisista kohdista toteumamittauksia otetaan ja millaisin välein. Ohjeissa olisi myös tarpeellista olla selitettynä toteutusmallien sisältö sekä asemakuva työmaasta tai työkoneen työalueesta, mikä helpottaisi koneenkuljettajaa löytämään aineistosta oikean koneohjausmallin. Koneohjausjärjestelmien välillä on myös suuria eroja käytön suhteen, joten mikäli työmaalla on käytössä useampia eri valmistajien koneohjausjärjestelmiä, on mahdollista, että mittaustyönjohtaja joutuu laatimaan useampia ohjeistuksia eri järjestelmiä varten. (Jaakkola 2015, 7.)

Väylien rakennekerrosten tarkemittauksia suorittaa urakoitsijan mittaushenkilöstö joko takymetri- tai GNSS-mittauksin. Väylien suorilta osuuksilta tarkemittauksia tehdään vähintään 200 metrin välein sekä aina sellaisista kohdista, joissa rakenteet muuttuvat. Näin tehdään esimerkiksi silloin, kun suodatinkerroksen hiekka vaihtuu masuunihiekalla tehtäväksi eristyskerrokseksi tai kerrosvahvuudet muuttuvat. Kuviossa 6 on esitetty esimerkki väylän pituusleikkauksesta, jossa tapahtuu tällaisia edellä mainittuja rakennekerroksiin liittyviä muutoksia. Kuviossa on myös ilmoitettu nuolilla tarvittavien tarkemittauspisteiden mittauskohdat väylän pituussuunnassa. Näiltä kohdilta tulee mitata tarkemittaukset kaikista rakenteen poikkileikkauksen taitekohdista, jotka ilmenevät luvun 3.10 kuviossa 7. Mikäli väylän vaakageometrian kaarresäde on pienempi kuin 3000 metriä, tarkemittausten väli tihennetään 100 metriin. Tarkemittaukset tehdään aina rakenteiden poikkileikkausten taitekohdista. Jos rakennettavan kohteen pituus on pienempi kuin maksimiväli tarkemittauksille (suoralla väylällä 200 metriä tai kaarevalla väylällä, jonka kaarevuussäde on alle 3000 metriä, 100 metriä), kohteesta täytyy kuitenkin mitata vähintään yksi poikkileikkaus kohteen jokaisesta rakenneosasta. Tarkemittauksien tarkoituksena on todentaa, että rakennetut rakenteet täyttävät laatuvaatimukset. (Jaakkola 2015, 7–9.)



Kuvio 6. väylän pituusleikkauksen tarkemittausten kohdat rakenteiden muutoskohdissa

Väyliä rakenteiden tarkemittauksia ja toteumamittauksia pyritään seuramaan mahdollisimman reaaliaikaisesti työnjohdon, urakoitsijan mittaushenkilöstön ja tilaajan valvojan toimesta. Mitatun tarke- tai toteumamittauspisteen sijaintia ja korkeusasemaa verrataan toteutusmallin teoreettiseen suunniteltuun pintaan tai taiteviivaan, josta saadaan eromitat toteutuneen rakenteen ja suunnitellun rakenteen suhteen. Näitä eromittoja verrataan hankkeen laatuvaatimuksissa esitettyihin toleransseihin. InfraRYL:n asettamat mittavaatimukset väyliä eri rakennekerroksille on esitetty taulukossa 2. Hyvin usein infrahankkeissa sijaintivaatimuksena ovat nämä InfraRYL:n määrittelemät vaatimukset, mutta hankekohtaisesti on mahdollista, että vaatimuksia on muutettu työselityksessä ainakin joiltakin osin hankkeelle soveltuvammiksi. Mikäli tarke- tai toteumamittauksissa havaitaan liian suuria poikkeamia, korjaaviin toimenpiteisiin tulee ryhtyä välittömästi poikkeaman havaitsemisen jälkeen. Jos poikkeamia ei jostain syystä voida korjata, tulee poikkeamasta laatia poikkeamaraportti, jossa esitetään poikkeaman mittaustiedot sekä esitetään analyysi siitä, kuinka poikkeama vaikuttaa rakenteen toimivuuteen. Mahdolliset poikkeamat täytyy myös sisällyttää toteumamalliin. Poikkeaman ilmetessä tulee tutkia, mitkä olivat poikkeamaan johtaneet syyt ja korjata ne mahdollisimman pian. Poikkeaman seurauksena tarkemittausten väliä lyhennetään väliaikaisesti. Tihennetty tarkemittausväli on 50 metriä, ja tämä mittausväli pidetään siihen asti, kunnes neljän peräkkäisen poikkileikkauksmittauksen aikana ei ole havaittu vaatimukset ylittäviä poikkeamia. Tämän jälkeen voidaan palata takaisin normaalin tarkemittausväliin. (Jaakkola 2015, 7–9.)

Taulukko 2. Suurimmat yksittäiset poikkeamat maarakenteiden sijainnissa millimetreinä InfraRYL:n mukaan (mukaillen Jaakkola 2015, 4)

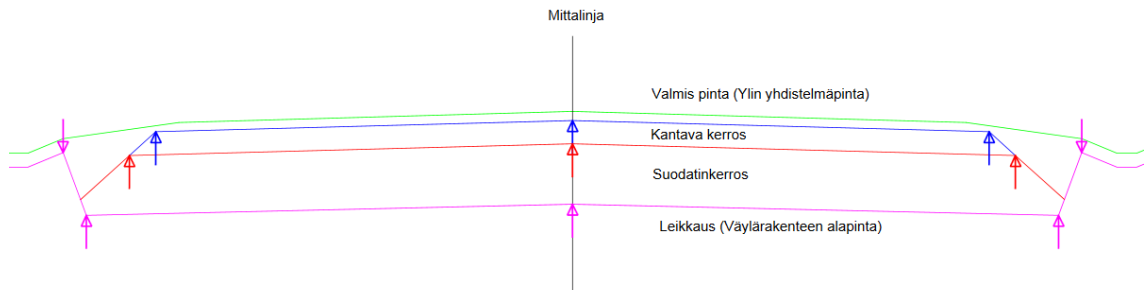
Rakennusosa	Sijainti x-, y-suunnassa	Sijainti z-suunnassa
Maaleikkaus, maa- tai louhepenger (tie- ja ratarakenteissa)	-0 / +200	-100 / +0
Suodatinkerros (tie- ja ratarakenteissa)	-0 / +150	± 40
Jakavakerros (tierakenteissa)	-0 / +150	± 30
Kantava kerros (tierakenteissa)	-0 / +150	± 20
Eristyskerroksen yläpinta (ratarakenteissa)	-0 / +100	-50 / +0
Välikerroksen yläpinta (ratarakenteissa)	-0 / +50	-20 / +0

Luovutettavana laatuaineistona urakoitsijan tulee toimittaa tilaajalle väylien toteuma- ja tarkemittauksista mitatut pisteet sekä mitattujen pisteiden sijaintitiedot karttapohjalla, jossa on ilmoitettuna toteutusmallin ja mittaus tietojen väliset numeeriset poikkeamatiedot. (Jaakkola 2015, 10.)

3.10 Koneenkuljettajat

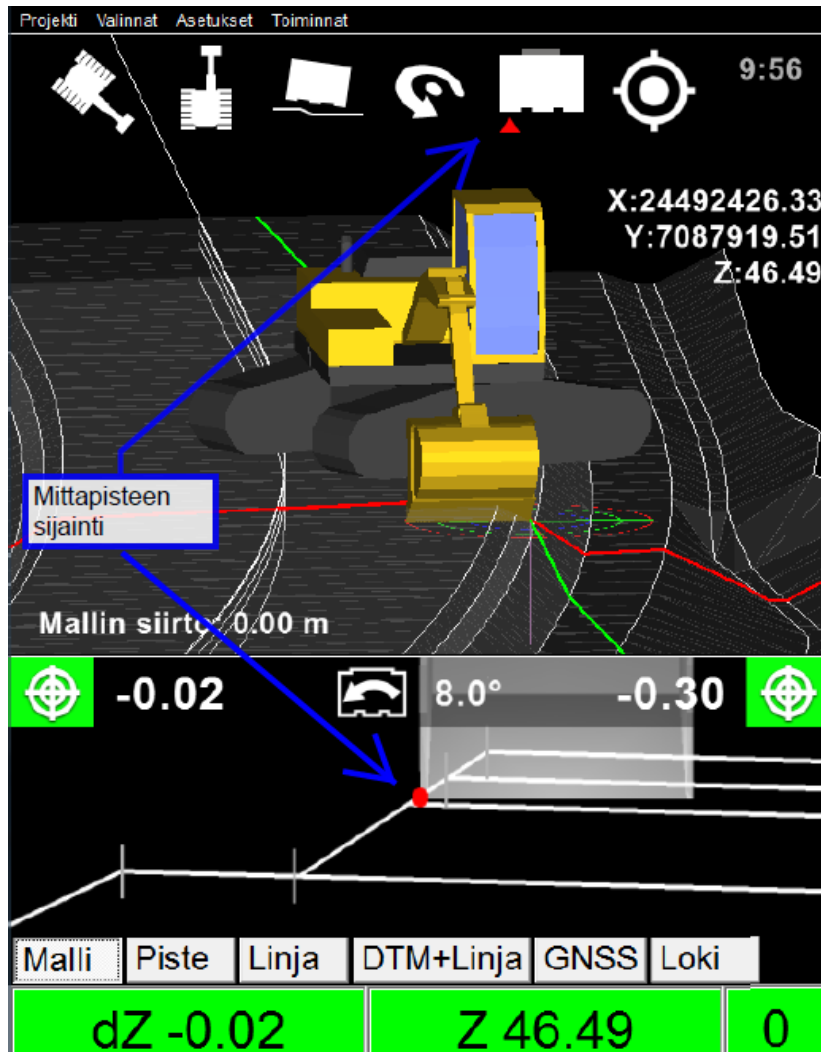
Työkoneiden kuljettajien ottamista toteumamittauksista määritellään YIV2015:ssä, että mittauksia täytyy tehdä väylän leikkauksesta ja jokaisesta rakennettavasta rakennekerroksesta vähintään 20 metrin välein. Toteumapistteet täytyy mitata aina rakenteen poikkileikkauksen mukaisista taitepisteistä. Koska taitepisteiden määrä vaihtelee eri väylien välillä, niin myös tarvittava toteumapistteiden määrä on aina riippuvainen rakennettavasta väylästä ja sen rakenteesta. Kuviossa 7 on esitetty esimerkki mahdollisesta väylän poikkileikkauksesta, ja tarvittavien toteumapistteiden mittauskohdat on ilmoitettu nuolilla. Väylien rakennekerrosten lisäksi toteumamittauksia voidaan tehdä esimerkiksi

putkista, putkien ja kaivojen asennusalustoista, arinoista, kaivannoista ja täy-
töistä sekä kaapeleista ja pylväsjalustoista. (Jaakkola 2015, 7.)



Kuvio 7. Väylän poikkileikkauksen toteuma- ja tarkepisteiden mittauskohdat

Ennen kuin toteumamittauksia tehdään, koneenkuljettajan täytyy varmistaa, että käytössä oleva kauha tai työväline on kalibroitu ja koneohjausjärjestelmästä on valittuna juuri se kauha tai työväline, jolla mittauksia ollaan tekemässä. Lisäksi täytyy varmistaa, että koneohjausjärjestelmän GNSS-paikannusjärjestelmä on yhteydessä tukiasemaan, vastaanottaa korjausviestiä ja seuraa riittävää määrää satelliitteja eli on RTK-FIX-tilassa, jolloin paikannustarkkuus on riittävä mit-
tauksia varten. Yleensä koneohjausjärjestelmät ilmoittavat, mikäli paikannus-
tarkkuus ylittää järjestelmään asetetut toleranssiarvot. Koneohjausjärjestelmäs-
tä tulee myös tarkistaa, että aktiivisena on oikea malli tai tiedosto sekä mahdol-
lisesti pistekoodi. Toteumamittauksia tehtäessä kauhan pohja asetetaan tarkasti
mitattavaa rakennetta vasten oikeaan kohtaan ja varmistetaan, että koneoh-
jausjärjestelmän mittauskohta on asetettu oikeaan kohtaan kauhaa. (Jaakkola
2015, 7–8.) Esimerkiksi suodatinkerroksen yläkanttin toteumamittauksessa ko-
neohjausjärjestelmän mittapiste tulee olla kauhan siinä kulmassa, joka on sijoi-
tettuna yläkanttiin. Kuviossa 8 on esitetty Novatronin koneohjausjärjestelmän
LandNova-ohjelmasta mittauspisteen asema kauhassa ja suodatinkerroksen
yläkanttissa.



Kuvio 8. Kauhan mittapisteen sijainti

Toteumamittauksia saa tehdä vain koneilla, joiden tarkkuus on koneen tarkastusmittauksissa todettu riittäväksi kyseessä olevalle rakennekerrokselle. Toteumamittausten mittaamiseen vaaditut tarkkuudet ovat samat kuin kyseisen rakennekerroksen rakentamiseen vaaditut tarkkuudet, jotka on esitetty luvun 3.9.3 taulukossa 1. (Jaakkola 2015, 7.)

4 TIETOMALLIPOHJAINEN INFRAHANKE OULUN KAUPUNGILLA

4.1 Tausta

Oulun kaupungin infrahankkeisiin on jo vuosien ajan tuotettu koneohjausmalleja rakentamista varten. Tällä hetkellä kaikkiin hankkeisiin tuotetaan koneohjausmallit, ja hankkeet toteutetaankin lähes poikkeuksetta koneohjausta hyväksikäyttäen. Oulun kaupunki on alkanut viime vuosina ottaa hankkeissaan käyttöön tietomallintamisen, ja sitä kehitetään jatkuvasti. Tulevaisuudessa Oulun kaupungilla onkin tarkoituksena siirtyä kaikissa suuremmissa infrahankkeissa tietomallipohjaiseen toteutukseen. Tämän myötä tavoitteena on luopua kokonaan perinteisestä dokumenttipohjaisesta suunnitelmamateriaalista, eli käytännössä suunnitelma-aineistona olisi vain tietomalli eikä kymmenittäin pdf-tulosteita. (Ukkola 2017; Hietakangas 2017.)

Aiemmin koneohjausmallit ovat menneet suoraan suunnittelijalta urakoitsijalle ilman tilaajan tarkastusta, koska tilaajalla ei ole ollut ohjelmistoja mallien tarkastamista tai edes katselemista varten. Tietomallintamisen myötä tilaaja ottaa isomman roolin hankittujen ohjelmistojen ja tietotaitojen kautta. Tilaja tarkastaa toteutusmallit ainakin silmämääräisesti ennen urakoitsijalle luovuttamista ja vaatii suunnittelijaa korjaamaan havaittuja virheitä. Ohjelmistona inframallien tarkastamisessa Oulun kaupungilla on tällä hetkellä käytössä Infrakit, mutta muitakin ohjelmia on kokeiltu aiemmin. Oulun kaupunki ei ole sitoutunut käyttämään tiettyä ohjelmistoa, mutta ainakin tällä hetkellä Infrakit on koettu toimivaksi ja helppokäyttöiseksi. Monissa muissa ohjelmistoissa on havaittu ongelmaksi se, että ne on tehty enemmän suunnittelijoiden kuin tilaajan tarpeita ajatellen. (Heikinheimo 2017; Ukkola 2017; Hietakangas 2017.)

Aiemmin suoraan suunnittelijoilta tulleissa koneohjausmalleissa on ollut suuria virheitä ja mallintamatta jääneitä osia. Kaiken mallinnuttaminen suunnittelijalla ei kuitenkaan ole kustannustehokasta. Esimerkiksi monimutkaisten pienten yksityiskohtien kohdalla tilaaja joutuu harkitsemaan, voidaanko kohta toteuttaa ilman mallintamista, mikäli mallintaminen tulisi erityisen kalliiksi. Ohjeistusta toteutusmallien laadusta ja kattavuudesta suunnittelijoille tarkennetaan jatkuvasti,

ja mallien taso onkin muuttumassa parempaan suuntaan. Tilaajalla itsellään ei ole ohjelmistoja eikä kokemusta mallien korjaamisesta, joten käytännössä mahdolliset virheet korjaa suunnittelija tai työmaaolosuhteissa urakoitsijan tietomalliasiantuntija. Usein työmaalla onkin töiden jatkumisen kannalta nopeampaa, että urakoitsijan edustaja korjaa mallit. (Heikinheimo 2017; Ukkola 2017; Hietakangas 2017.)

Toistaiseksi Oulun kaupunki ei vielä ole toteuttanut yhtään infrahanketta alusta loppuun tietomallipohjaisesti, mutta muutamissa hankkeissa tietomallintamista on kuitenkin jo hyödynnetty. Esimerkkinä voidaan mainita Poikkimaantien silta ja siihen liittyvät katurakenteet (2015–2017). Hanketta ei toteutettu kokonaan tietomallipohjaisesti, koska suunnitelmat oli jo ainakin osittain tehtynä dokumenttipohjaisesti ennen varsinaista hankkeen aloitusta. Vuoden 2017 syksyllä Oulun kaupunki alkoi rakennuttaa Pateniemenrannassa ensimmäistä kokonaan tietomallipohjaista hankettaan, jossa haastateltavista Hietakangas toimii projektipäällikkönä ja Heikinheimo valvojana. (Ukkola 2017; Hietakangas 2017.) Pateniemen hanke oli tarjouskilpailussa, mutta tarjouspyynnön liitteeksi ei luovutettu vielä tietomalleja urakkalaskentaa varten, koska mallit olivat vielä liian kesken-eräiset (Hietakangas 2017).

Pateniemenrannan hankkeen myötä tietomalliasiat ja toimintatavat ovat selvenyneet paljon, ja kaupungin ohjeistusta niiden suhteen tarkennettu yhteistyössä urakoitsijan kanssa. Myös Kiimingin Hakomäessä alkoi vuoden 2017 lopussa Oulun kaupungin tietomallipohjainen infrahanke, jonka toteuttaa kokonaisuudessaan Oulun kaupungin tekninen liikelaitos. Hakomäen hankkeen myötä tavoitteena on saada tietomalliosaamista ja kaupungin ohjeistuksia urakoitsijoiden suuntaan vielä edelleen kehitettyä. (Hietakangas 2017; Ukkola 2017.)

Haastateltavien mukaan tietomallipohjaisesta toteutuksesta ei vielä toistaiseksi saada läheskään kaikkea hyötyä irti. Varsinkin toteuma- ja ylläpitomallien osalta vasta haetaan toiminta- ja toteutustapoja. Erityisesti ylläpitomalliin sisällytettävät tiedot eivät vielä ole selvillä. Ylläpitomalli ei vaadi kaikkea tietoa, jonka toteumamalli sisältää. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole selvää, tarvitseeko ylläpitomalliin jotain sellaista tietoa, jota toteumamallissa ei vielä ole mallinnettu, kuten

tiettyjen laitteiden ja varusteiden mittaussuunnitelma ja rekisteröinti. (Ukkola 2017; Hietakangas 2017; Heikinheimo 2017.)

Tarkoituksena on tulevaisuudessa saada aina tarjouspyyntövaiheessa tarjouspyynnön liitteeksi ainakin suunnitelmamallit. Oulun kaupungilla on tarkoitus sitoutua toimitettuihin tietomalleihin samoin kuin määräluetteloonkin. Tilaajan on hankalaa sitoutua malleihin, jos niissä on vielä kovin suuria epäkohtia tai aukkoja. Tietomallien täytyy olla luovutusvaiheessa riittävän hyvät, jotta mahdolliset virheet ja täydennykset eivät enää merkittävästi voi vaikuttaa hankkeen toteuttamisen kustannuksiin. Tietomalleja täydennetään suunnittelijoiden toimesta urakalaskenta-aikana ja viimeistään sopimuskatselmuksen jälkeen. Urakoitsijat veloitetaan jo laskentavaiheessa ilmoittamaan tilaajan edustajalle *tietomalleissa mahdollisesti havaituista virheistä*, koska tietomalli on samalla tavalla suunnitelma kuin suunnitelmat perinteisessä dokumenttipohjaisessa hankkeessa. (Hietakangas 2017; Ukkola 2017.)

Oulun kaupungin tietomallipohjaisissa hankkeissa tullaan todennäköisesti tulevaisuudessa vaatimaan jo tarjouspyynnön yhteydessä, että urakoitsijan mittausorganisaation vastuuhenkilöt on nimetty. Mittaustyönjohtajan riittävä pätevyys tulee osoittaa koulutuksen tai referenssien kautta. Mikäli urakoitsijalla ei itsellään ole palveluksessaan vaadittavien pätevyyksien omaavaa mittaushenkilöä tai henkilöstöä, urakoitsijan tulee nimetä yritys ja vastuuhenkilö, josta työmaan mittaus ostopalveluna hankitaan. Tällä tavoin tilaaja voi varmistua siitä, että yritys todella on kykenevä hoitamaan urakkaan liittyvän mittauksen ja muut tietomalleihin liittyvät asiat. Toistaiseksi henkilöreferenssejä on vaadittu vain urakoitsijan työmaapäälliköltä tai työnjohtajalta. (Hietakangas 2017; Ukkola 2017.)

4.2 Laadun varmistus

Oulun kaupungin tietomallipohjaisissa hankkeissa laadunvarmistuksen ohjeistus seuraa suurimmaksi osaksi YIV2015-ohjeistusta. Kaupungin ohjeistuksessa on kuitenkin muutamia tarkennuksia ja muutoksia verrattuna YIV2015-ohjeistukseen. Mittauspäällikkö, mittauspäällikön varahenkilö ja mittausvastava on nimettävä urakan laatusuunnitelmassa. Laadun varmistuksen suunnitte-

lusta vastaa joko työmaapäällikkö tai laatupäällikkö. Mittauspäällikön ja/tai mittausvastaavan toimenkuvaan kuuluvat toteutusmallien, tukiaseman ja työkoneiden tarkastukset, tarkemittaukset sekä toteumamittausten seuranta. Myös työmaan henkilöstön perehdyttäminen mallipohjaiseen laadunvalvontaan ja sen toteuttamiseen kuuluu mittauspäällikön tai mittausvastaavan vastuisiin. (Mallipohjaisen toteumamallin ja laadunvalvonnan ohje 2017, 1.)

Oulun kaupungin tietomallipohjaisista hankkeista laaditaan osana rakennussuunnitelmaa mittaussuunnitelma ja mittaussuunnitelmaselostus. Näiden tarkoituksena on jo ennen työmaan aloitusta riittävästi varmistaa mallipohjaisen laadunvalvonnan toimivuus. Mittaussuunnitelmassa määriteltäviä asioita ovat:

- Kohteen mittausperustan luotettavuus tulee varmistaa ja/tai tarvittaessa rakentaa mittausperusta. Oulun kaupungin tietomallipohjaisten hankkeiden koordinaatistona käytetään ETRS-GK26 N2000 -järjestelmää.
- Paikallinen tukiasema tulee perustaa paikkaan, jossa se ei pääse liikkumaan – vakaalle, tukevalle pohjalle avoimeen sijaintiin, jossa tukiasema ei ole kuitenkaan rakentamisen esteenä. Tämän tarkoituksena on varmistaa, että tukiaseman luotettavuus olisi mahdollisimman hyvä ja että sen sijaintia voidaan seurata myös helposti silmämääräisesti sekä takymetrimittauksella.
- Etukäteen ennen töiden aloittamista tulee tarkastaa tukiaseman toimivuus, kartoittaa mahdolliset katvealueet sekä tarkastaa tukiaseman tarkkuus tunnettujen pisteiden avulla. Tukiaseman tarkkuuden tulee olla $\pm 20\text{mm}$.
- Tukiaseman etäisyys GNSS-paikannusta käyttävistä työkoneista ei saisi olla yli kolmea kilometriä.
- Mittauspäällikön tai mittausvastaavan tulee järjestää tai mitata työkoneohjausta varten tarkastuspisteet koko työmaan alueelle. Nämä kontrollipisteet tulee dokumentoida erilliselle lomakkeelle, ja lomake tulee antaa työmaavastaavien sekä koneenkuljettajien käyttöön.
- Mittauksissa käytettävien takymetriä tulee olla kalibroitu laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti, ja kalibroitodistukset tulee dokumentoida

mittalaittekohtaiseen taulukkoon. Mittalaitteiden toimivuutta myös seurataan silmämääräisesti ja muiden havaintojen perusteella. Mikäli havaitaan mahdollinen mittalaitteesta johtuva virhe, mittalaite tulee kalibroida ennen käytön jatkamista.

(Mallipohjaisen toteumamallin ja laadunvalvonnan ohje 2017, 2.)

Oulun kaupunki edellyttää reaaliaikaista mallipohjaista laadunvalvontaa, jolloin toteuma-, tarketiedot sekä mahdolliset valokuvat toimitetaan tilaajan saataville päivittäin. Toistaiseksi Oulun kaupunki on käyttänyt reaaliaikaiseen mallipohjaiseen laadunvalvontaan Infrakitiä. Infrakitin tai mahdollisesti jonkin muun pilvipalvelun avulla myös valvoja ja projektipäällikkö pääsevät tarkastelemaan toteuma- ja tarkemittaustietoja. Tämän menetelmän avulla päästään työntöteuksen aikaiseen laadunvalvontaan perinteisen lopputuotteen toteamisen sijaan. Menetelmä mahdollistaa sen, että urakoitsijan lisäksi myös valvoja pystyy nopeasti reagoimaan mahdollisiin virheisiin rakentamisessa. Tällaisen päivittäisen seurannan avulla myös hankkeen edistyminen on helpommin havaittavissa. Mallipohjainen laadunvalvonta on koko työmaan ajan jatkuva prosessi, jossa seurataan säännöllisesti eri vaiheita rakentamisessa. Koska reaaliaikainen mallipohjainen laadunvalvonta helpottaa mahdollisten virheiden havaitsemista, myös korjaavat toimenpiteet voidaan aloittaa mahdollisimman nopeasti. Lisäksi Oulun kaupungin valvojalla on käytössään GNSS-mittalaite, jolla hän voi itse valvoa työnjälkeä mallipohjaisesti sekä halutessaan mitata toteumatietoa. Todennäköisesti Oulun kaupunki tilaajana ottaa tulevaisuudessa haltuunsa Infrakitin tai muun vastaavan järjestelmän ja toimii sen pääkäyttäjänä. Työmaan alkajalla urakoitsija liittyy tilaajan järjestelmään ja toimii sitä kautta. Tähän asti järjestelmien pääkäyttäjänä on ollut urakoitsija, ja tilaajalle on annettu järjestelmään käyttöoikeus. (Ukkola 2017; Hietakangas 2017; Heikinheimo 2017.)

Haastateltavat painottavat sitä, että koneenkuljettajat täytyy saada perehdytettyä toteumamittausten mittaamiseen riittävän hyvin, jotta mittaukset on varmasti tehty oikein. Koska työ hyväksytään osittain koneenkuljettajien toteumamittausten perusteella, maksuerien hyväksyminen voi viivästyä virheellisten mittausten vuoksi. (Ukkola 2017; Hietakangas 2017; Heikinheimo 2017.)

Tarkemittausten suorittamisesta Oulun kaupunki määrittelee yleisten inframallivaatimusten ohjeistuksesta poikkeavasti, että tarkemittausten välien on oltava korkeintaan 100 metriä ja että profilointikerroksen tarkkeet ovat aina mitattava takymetrilla. Myös seurantatapauksessa, jossa tarkemittausten tulokset eivät täytä InfraRYL:n valmiiden rakenteiden tarkkuusvaatimuksia, mittausväli on tiheämpi kuin yleisissä inframallivaatimuksissa. Yleisissä inframallivaatimuksissa tihennetty tarkemittausväli on 50 metriä, mutta Oulun kaupungin hankkeissa väli on 1–20 metriä. Samoin kuin yleisissä inframallivaatimuksissa, normaaliin tarkemittausväliin voidaan palata sen jälkeen, kun neljän peräkkäisen poikkileikkausmittauksen aikana ei ole havaittu vaatimukset ylittäviä poikkeamia. Tarkemittausten yhteydessä voidaan myös ottaa tarvittaessa havainnollistavia valokuvia rakennetuista rakenteista ja tarkemittauskohdista. (Mallipohjaisen toteumamallin ja laadunvalvonnan ohje 2017, 6.)

Urakoitsijan tulee tuottaa mallipohjaisesta laadunvalvonnasta sähköinen laatukansio tai laatu-tietokanta. Tähän kootaan työkoneiden ja tukiasemien tarkastusraportit, työkoneilla tehdyt toteumamittaukset, tarkemittaukset poikkileikkausesityksenä ja niihin liittyvät mahdolliset poikkeamaraportit, toteumamittausten raakadata eli xyz-pisteaineisto sekä mittausten yhteydessä otetut valokuvat ja videot. Laatuaineistoon liitetään myös työnaikainen esiraportointiaineisto, joka on tuotettu niiden väylärakenteiden osalta, joissa käytetään mallipohjaista laadunvalvontamenetelmää. (Mallipohjaisen toteumamallin ja laadunvalvonnan ohje 2017, 6–7.)

Perinteisissä dokumenttipohjaisissa hankkeissa luovutettava laatuaineisto on täytynyt toimittaa fyysisenä laatukansiona, johon on kerätty kantavuus- ja tiiveyskokeiden tulokset, vesijohtojen koepaineistustulokset, vesinäytteiden tutkimustulokset, käytettyjen maa-ainesten rakeisuuskäyrät, viljavuustutkimukset, kaivokortit, työturvallisuussuunnitelmat, asfalttitutkimukset, sähkö tarkastukset ja muita työmaahan liittyviä laatuasiakirjoja. Tavoitteena Oulun kaupungilla on, että tietomallipohjaisten hankkeiden osalta tällainen fyysinen kansio jää pois ja että käytännössä ainakin osa näistä asioista saadaan vähintään liitettyä liitteeksi toteumamalliin, jollei niitä voida ilmoittaa toteumamallin objektin ominaisuus-

tiedoissa. Esimerkiksi tiiveys- ja kantavuusmittauksista mitataan sijainti, ja toteumamalliin tulee tälle mitatulle pisteelle referenssitiedot saaduista kantavuus- ja tiiveysmittauksista. Tällä hetkellä mitattu laatuaineisto, kuten toteuma- ja tar- ketieto tallentuu Infrakittiin, jonka kautta ne ovat tilaajan saatavilla. Ainakin tois- taiseksi laatuaineisto, joka ei tule suoraan mittaamalla tallennetaan tilaajan eril- liseen projektipankkiin. Tulevaisuudessa tavoitetilana kuitenkin on, että kaikki laatuaineisto olisi saatavilla elektronisesti saman järjestelmän kautta. (Hietakangas 2017; Ukkola 2017; Heikinheimo 2017.)

Yleisesti laatuun liittyvänä valvojan huomiona Heikinheimo kertoo, että kun mit- tamies on jatkuvasti työmaan käytössä, työn laatu on mittamiehen jatkuvan kontrollin vuoksi huomattavasti parempaa verrattuna tilanteeseen, jossa mitta- mies käy työmaalla vain silloin tällöin. Myös tarvittavien korjaustoimenpiteiden määrä on tällöin yleensä huomattavasti pienempi. (Heikinheimo 2017.) Hietakangas kommentoi asiaa: *”Tämän päivän työn tekeminen on melko paljon mit- taamista – erityisesti rakennetussa kaupunkiympäristössä on vaikea tehdä laa- tua ilman, että mittamies on koko ajan käytettävissä.”* (Hietakangas 2017.) Ny- kyään mittamies ei ole vain mittamies, vaan käytännössä toimii tavallaan laatu- vastaavana. Mittamies joutuu nykyään huolehtimaan todella monista asioista. Pelkän perinteisen mittauksen lisäksi mittamies joutuu huolehtimaan toteutus- malleihin liittyvistä seikoista, koneohjausjärjestelmien toiminnasta, koneenkuljet- täjien opastamisesta, toteumamittausten toteutumisesta sekä siitä, että työn jälki on laatuvaatimusten mukainen. (Heikinheimo 2017; Hietakangas 2017; Uk- kola 2017.)

4.3 Mallien tekeminen

Oulun kaupunki ei itse hoida suunnittelua, vaan ostaa suunnittelun ulkopuolisilta suunnittelutoimistoilta. Siten myös toteutusmallit tulevat samalta ulkopuoliselta suunnittelutoimistolta. Jo Pateniemenrannan hankkeeseen on onnistuttu koh- tuullisen hyvin väylien ja niiden rakennekerrosten lisäksi mallintamaan raken- nettavia johtotietoja, kuten katu- ja vesihuoltosuunnittelijan suunnittelemat put- ket ja varusteet. Tele- ja sähköoperaattoreiden johtotietoja ei kuitenkaan ole saatu mallinnettua vielä tähän hankkeeseen. Tietomallipohjaisten hankkeiden

myötä suunnittelijoilta vaaditaan entistä tarkempaa toteutusmallien tarkastamista ennen luovutusta tilaajalle tai urakoitsijalle. (Hietakangas 2017; Heikinheimo 2017; Ukkola 2017.) Ukkolan näkemyksen mukaan tietotaito hyvien toteutusmallien luomiseen on vielä toistaiseksi liian harvalla suunnittelijalla. Hän uskoo, että mallien taso tulee paranemaan sen myötä, kun tietotaito toteutusmallien tuottamisesta karttuu yhä useammalle suunnittelijalle. (Ukkola 2017.)

Ukkola painottaa tietomalliselostuksen tärkeyttä. Tietomalliselostukseen on kerätty kaikki olennainen tieto mallista, erityisesti se, mitä on jätetty mallintamatta. Urakoitsijan vastuulle voi toteutusmallien tarkastamisen lisäksi jäädä pienimuotoista mallien korjaamista, täydentämistä ja mahdollista lisämallinnusta, jos urakoitsija katsoo sen olevan tarpeen. Tilaaja on kuitenkin tarkastanut mallit jo ennen urakoitsijalle toimittamista ja vaatinut suunnittelijoilta tarvittavat korjaukset ja täydennykset. (Ukkola 2017.)

Siitä, kuuluuko toteumamallin tuottaminen urakoitsijalle vai suunnittelijalle, on eriäviä mielipiteitä. Kun toteumamallin tekee urakoitsija, mallin laatu saattaa vaihdella suuresti eri urakoitsijoiden välillä ja tilaaja voi joutua tarkistuttamaan mallin suunnittelijoilla. Ainakin toistaiseksi Oulun kaupungin kanta asiaan on, että toteumamallin tuottaminen tilataan suunnittelijoilta urakoitsijan toimittamien toteuma-, laatu- ja tarketietojen perusteella. (Hietakangas 2017; Ukkola 2017; Heikinheimo 2017.)

Mikäli rakentaminen on suoritettu toteutusmallin mukaisesti ja rakentamistoleransseja ylittämättä, toteutusmalli sisällytetään toteumamalliin sellaisenaan. Jos urakoitsija on muokannut toteutusmalleja tai tehnyt uusia malleja ja rakentanut niiden mukaan, täytyy toteumamallia varten toimittaa kaikki käytetyt toteutusmallit. Jos suunnitelmia joudutaan muuttamaan rakentamisen aikana, muutosten tekijän tulisi ensisijaisesti olla suunnittelija. Joskus suunnitelmamuutoksia voidaan tehdä kiireen vuoksi urakoitsijan toimesta, kunhan muutokset ensin hyväksytetään valvojalla. (Heikinheimo 2017; Ukkola 2017; Hietakangas 2017.) Toteumamallia varten urakoitsijan tulee toimittaa mallipohjaisen laadunvarmistuksen sähköinen laatukansio tai laatutietokanta ja mittausperusta muuttuneilta osin. Tämän lisäksi on toimitettava laatuaineistot sekä tarke- ja toteumatiedot

mahdollisista ylimääräisistä massanvaihdosta sekä rakennekerroksista. Muita toimitettavia mittaustietoja ovat rakennettuihin katurakenteisiin liittyvien johtojen, kunnallistekniikan, kuivatusrakenteiden, taitorakenteiden, kuten siltojen ja paa-lulaattojen, melurakenteiden, reunatukien, kivetysten ja asfalttipintojen mittaus-tiedot sekä kaikki muu olennainen toteumatieto, kuten valokuvat, videot ja tut-kimustulokset. (Mallipohjaisen toteumamallin ja laadunvalvonnan ohje 2017, 7.) Toteumamallia varten luovutettavan aineiston sisältö ja laajuus eivät vielä ole täysin selvillä, sillä asiasta ei vielä toistaiseksi ole riittävää kokemusta, mutta ohjeistus tulee selventymään käynnissä olevien ja tulevien hankkeiden myötä (Hietakangas 2017; Heikinheimo 2017). Tilaajalle tulee toteuma- ja ylläpitomal-lin mahdollista päivittämistä varten toimittaa myös toteumatieto takuuaikana tehtävistä korjauksista tai muutoksista (Mallipohjaisen toteumamallin ja laadun-valvonnan ohje 2017, 7).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tietomallipohjainen tapa toteuttaa infrarakennushankeita tulee varmasti tulevaisuudessa yleistymään edelleen. Mallipohjainen työskentely tuo suuria etuja verrattuna dokumenttipohjaiseen toteutustapaan erityisesti epäselvyyksien törmäysten ja työnsuunnittelun osalta. Toteutettaessa hanketta dokumenttipohjaisesti löytyy usein kohtia, joita ei oikeastaan ole edes suunniteltu, tai ainakaan suunnitelmätietoa ei ole toimitettu urakoitsijalle asti. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi materiaalien tai rakennekerrosvahvuuksien muutokset liittymissä. Tietomallipohjainen toteutustapa pakottaa suunnittelijat mallintamaan, miten tällaiset kohdat toteutetaan. Myös kaksiulotteisessa suunnittelussa hyvin usein tapahtuvaa putkien ja muiden rakenteiden törmäämistä saa vähennettyä mallintamisen keinoin. Jos törmäykset huomataan vasta rakentamisvaiheessa, työkyseisessä kohteessa yleensä pysähtyy siihen asti, että törmäyksen välttämiseen keksitään ratkaisu. Tällaisen ratkaisun löytyminen voi pahimmassa tapauksessa kestää päiviä ja jopa vaatia jo rakennettujen rakenteiden purkamista ja uudelleen rakentamista.

Suomalaisiin infrarakentamisen tarpeisiin kehitetyssä Inframodel-tiedonsiirtoformaattissa on toistaiseksi ongelmana se, että kaikki ulkomaalaiset ohjelmistot eivät tue tiedostomuotoa täydellisesti. Tämä voi johtaa siihen, että kun ohjelmalla avataan Inframodel-tiedostosto, ei ohjelma osaa tulkita tiedoston sisältöä kokonaan, jolloin osa tiedoston sisältämästä tiedosta häviää. Tällaisella ohjelmalla ei pysty myöskään kirjoittamaan tietoa ulos täydellisessä Inframodel-tiedostoformaattissa.

Tietomallipohjaisen projektin hallinnassa koneohjausjärjestelmien sovittaminen projektinhallinnantyökaluun on toistaiseksi saatavilla olevissa ohjelmistoissa turhan hankalaa. Opinnäytetyön valmistumisen aikana ei vielä löytynyt sellaista projektinhallinnan työkalua, jossa ei olisi mitään ongelmia saada kaikkia yleisimpiä koneohjausjärjestelmiä samaan projektinhallinnan työkaluun. Infrakit pääsi lähimmäs tätä tavoitetta, mutta tässäkin ohjelmassa Trimblen, Leican ja Topconin järjestelmien toiminta joudutaan liittämään Infrakitiin laitevalmistajien

omien pilvipalveluiden kautta, mikä taas mahdollisesti aiheuttaa lisäkustannuksia ja tiedonsiirron ongelmia.

Koneohjausjärjestelmien myötä monelle on tullut käsitys, että mittaushenkilöstön tarve työmailla pienenee. Todellisuudessa kuitenkin vain maastossa tehtävien mittauksen tarve vähenee, ei suinkaan mittaushenkilöstön tarve. Kuten tilaajan edustajat sanoivat haastattelun yhteydessä, mittamiehen toimenkuva muuttuu enemmänkin laatuvaastaavaksi. Koneohjausjärjestelmistä ja niiden malleista sekä toteuma-, tarke- ja tarkastusmittauksista huolehtiminen pitää mittamiehen kiireisenä vielä tulevaisuudessakin. Tietomallipohjaisen toimintatavan kehittymisen myötä mittamiehen tulee myös jatkuvasti pitää ammattitaitoaan yllä, sillä tällaisten hankkeiden toteutuksen kannalta mittamiehen rooli ja ammattitaito ovat merkittäviä tekijöitä. Yleensä mittamiehen tarve hankkeen toteutuksessa on koskenut urakan aikana tapahtuvaa mittaamista sekä toteuma- ja tarkeaineiston käsittelyä. Tietomallipohjaisissa hankkeissa urakoitsijan mittaushenkilöstö tulee kuitenkin olemaan hankkeissa mukana urakkalaskennan alusta takuuajan loppuun asti. Tietomallipohjaisten hankkeiden toteutuksessa mittausorganisaatiolle välttämättömiä työvälineitä ovat riittävät ohjelmistot ja koulutus tietomallien käsittelyyn sekä hankekohtaisesti tarvittavat mittausvälineet. Myös tiedonsiirtoyhteydet koneohjausta hyödyntävien työkonoiden ja mittapäällikön välillä ovat tarpeelliset ylimääräisen muistitikkujen kuljettamisen välttämiseksi. Tiedonsiirtoyhteydet toimivat samalla myös laadunvarmistuksen keinona, koska tällöin voidaan varmistua siitä, että jokaisessa koneessa on käytössä ajantasaiset mallit. Tulevaisuudessa Oulun kaupungin mahdollisesti vaatimat henkilöreferenssit mittaustyönjohtajalta voivat olla merkityksellinen tekijä urakoissa. Jos mittaustyö hankitaan ostopalveluna, niin mittaustyönjohtajan nimeämisen jälkeen palvelu on todennäköisesti hankittava koko urakan ajan samalta mittausalan yritykseltä. Ostopalvelun haittapuolia voivat olla myös mittaushenkilöstön huono saatavuus kiireellisissä tapauksissa sekä erilaiset toimintatavat kuin mihin urakoitsijayrityksessä on totuttu. Yrityksen omassa palveluksessa olevan mittamiehen kautta reagointi kiireellisiin tilanteisiin on yleensä parempi, koska hänen aikataulunsa ovat järjesteltävissä yrityksen sisäisesti eivätkä ole niin riippuvaisia kolmannesta osapuolesta. Tällä tavoin voidaan mahdollisesti välttyä suuriltakin työn seiseisauksilta.

Urakkalaskennan menetelmät tulevat osittain muuttumaan ja vaatimaan uusia toimintatapoja. Urakoiden kokonaisuuksien ja rakenteiden hahmottaminen tulee helpottumaan tietomallien kautta, mutta toisaalta tämä vaatii myös ymmärrystä mallintamisesta sekä soveltuvat ohjelmistot mallien tarkastelua varten. Mallinnuksessa olevia aukkoja tai epäselvyyksiä varten voi toisinaan olla myös tarpeen hyödyntää urakoitsijan mittaushenkilöstöä lisäresurssina lisämallinnuksen ja mallien tarkemman tutkimisen apuna.

Työnjohdon toimenkuvaan tietomallipohjaiset hankkeet vaikuttavat todennäköisesti vähiten. Tietomallipohjaisten hankkeiden tuomat edut työnjohdolle, kuten rakenteiden hahmottaminen maastossa, työnsuunnittelun helpottaminen sekä massojen ja työn etenemisen seuraaminen vaativat kuitenkin työnjohdolta ymmärrystä tietomalleista sekä tarvittavat ohjelmistot ja välineet.

Tietomallipohjaisissa infrahankkeissa on tärkeää, että koneenkuljettajien koneohjausjärjestelmien käyttötaito on riittävä ja että kuljettajat ymmärtävät oman vastuunsa hankkeen toteutamittauksiin ja koneohjausjärjestelmän tarkastusmittauksiin liittyen. Koska toteutamittaukset ja niiden tulokset ovat myös osa työn hyväksymisen perusteista, tulee koneenkuljettajien olla riittävän hyvin koulutettu mittausten tekemiseen. Lisäksi koneenkuljettajilla täytyy olla ainakin jonkinlainen käsitys tietomallipohjaisista infrahankkeista ja toteutusmalleista. Näin kuljettajat pystyvät tuotannossa tehokkaasti hyödyntämään koneohjausmalleja, taustakarttoja ja muita mittausaineistoja, joita koneohjausjärjestelmään syötetään.

6 POHDINTA

Opinnäytetyötä tehdessä oma tietämykseni tietomallipohjaisista infrahankkeista ja niiden vaatimuksista sekä eduista syventyi ja tarkentui. Uskon, että opinnäytetyö antaa myös asiaan perehtymättömälle henkilölle käsityksen siitä, millaisia nämä hankkeet ovat ja mitä ne vaativat urakoitsijalta.

Opinnäytetyössä esitettyjen asioiden luotettavuus perustuu alan ammattilaisten ammattitaitoon, kirjallisten lähteiden luotettavuuteen sekä opinnäytetyön tekijän puolueettomaan lähdeaineiston tulkintaan ja hänen ennalta omaksumaansa tietoon. Kaikissa lähteissä, joissa voi olettaa annetun tiedon taustalla olevan jonkin yrityksen kaupallinen hyöty, on käytetty tiukkaa lähdekritiikkiä.

LÄHTEET

Adobe Systems Software Ireland Ltd. 2018. PDF-tiedostojen sisältämien 3D-mallien näyttäminen. Viitattu 22.1.2018 <https://tinyurl.com/y7oo8zw6>.

Anderson, R. Mitä BIM todella merkitsee. Viitattu 22.1.2018 <https://www.solibri.com/mita-bim-todella-merkitsee/>.

Anttonen, M. 2008. IFC -tietomallin mukaisen tiedon jäsentäminen, käsittely ja siirto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknistaloudellinen tiedekunta. Tietotekniikan osasto. Diplomityö.

Arffman, H. 2018. Oulun tekninen liikelaitos. Työmaamestarin keskustelu 31.1.2018.

BIMObject 2018. Viitattu 22.1.2018 <http://bimobject.com/fi>.

BuildingSMART Finland 2013. Inframodel – käyttöönotto-ohje versio 1.0. Viitattu 22.12.2017 <https://tinyurl.com/y8gv97pn>.

BuildingSMART Finland 2017a. YIV-päivitystyö etenee. Viitattu 23.1.2017 <https://buildingsmart.fi/yiv-paivitystyö-etenee/>.

– 2017b. Toiminnassa mukana. Viitattu 27.12.2017 <https://buildingsmart.fi/toiminnassa-mukana/>.

– 2017c. Inframodel4 käyttöön 1.2.2018. Viitattu 27.12.2017 <https://buildingsmart.fi/inframodel4-kayttoon-1-2-2018/>.

BuildingSMART Finland 2018. Yleiset inframallivaatimukset. Viitattu 23.1.2018 <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.

BuildingSMART International. BuildingSMART model view definition for LandXML v1.2. Viitattu 22.12.2017 http://cic.vtt.fi/bSI_LandXML12_MVD/.

BuildingSMART Norway 2014. What openBIM Does For You - buildingSMART in Four Minutes. Video. Viitattu 2.7.2017 <https://tinyurl.com/y9yhj37n>.

Engelbart, D. C. 1962. Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework. Stanford Research Institute. Tutkimuksen tiivistelmäraportti.

Garber, R. 2014. BIM Design. West Sussex, United Kingdom: Wiley.

Green, E. 2016. BIM 101: What is Building Information Modeling?. Engineering.com. Artikkelin 3.2.2016. Viitattu 23.6.2017 <https://tinyurl.com/ya5zj9n3>.

Heikinheimo, S. 2017. Oulun kaupunki yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut. Rakennuttajavalvojan haastattelu 30.11.2017.

Heikkinen, T. 2018. DCS Finland Oy. Infrakitin yhteensopivuus koneohjausjärjestelmien kanssa. Markkinointikoordinaattorin chat-keskustelu 24.1.2018.

Hietakangas, S. 2017. Oulun kaupunki yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut. Rakennuttajainsinöörin haastattelu 30.11.2017.

Hiltunen, K. 2017. Visualisointi ja virtualisointi – suunnittelun uudet mahdollisuudet tietomallin avulla. Rakennuslehti. Artikkelin 26.6.2017. Viitattu 22.1.2018 <https://tinyurl.com/y8uy3454>.

Honkanen, J. 2018. Oulun Autokuljetus Oy. Rakennusmestarin keskustelu. 15.1.2018.

Jaakkola, T. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 12.1 Maanrakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä. Viitattu 27.9.2017 <https://tinyurl.com/y7vz5pgh>.

Janhunen, N., Parantala, S. & Pienimäki, M. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 4 Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. Viitattu 27.9.2017 <https://tinyurl.com/y7gl43v5>.

Kaivosoja, S. 2018. Sitech Finland. Myynti-insinöörin keskustelu. 23.1.2018.

Kivimäki, T. 2017. Infrakit: Infrahanketietojen reaaliaikainen havainnollistaminen. Viitattu 24.1.2018 <https://tinyurl.com/y8wtftzk>.

Kuusela, P. 2018. Novatron Oy. Tietomalliasiantuntijan keskustelu 24.1.2018.

Kylmälä, A. 2015. Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 3/2015. Viitattu 3.1.2017 <https://tinyurl.com/yavlb833>.

LandXML.org 2017. Viitattu 22.12.2017 <http://www.landxml.org/>.

Laukkanen, J. & Sammatti, M. 2017. 3D-koneohjausjärjestelmät. Koneviesti 21.9.2017, 92-97.

Levy, F. 2011. BIM in Small-Scale Sustainable Design. West Sussex, United Kingdom: Wiley.

Liukas, J. & Virtanen, J. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 3 Lähtötiedot. Viitattu 26.9.2017 <https://tinyurl.com/yc4ael7j>.

Mallipohjaisen toteumamallin ja laadunvalvonnan ohje 2017. Oulun kaupunki Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut. Työselostuksen liite.

Manninen, J. 2017. Digi-rakentaminen. Viitattu 22.1.2018 <https://tinyurl.com/y7k3mhyh>.

Mäkinen, E., Parkkari, J. & Tieaho, I. 2016. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 8 Inframallin laadunvarmistus. Viitattu 30.9.2017 <https://tinyurl.com/yav8vopm>.

National BIM standard 2015. National BIM standard – United States. Viitattu 2.7.2017 <https://tinyurl.com/y99kt5b4>.

Oksanen, R. 2010. Projektipankin käyttö rakennushankkeessa. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Opinnäytetyö.

Puuperä, S. 2015. Infra-alan tietomallien laatutavoitteet ja hyväksymiskriteerit. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 57/2015. Viitattu 22.12.2017 <https://tinyurl.com/yaru7634>.

Ruuti, P., Janhunen, N. & Pienimäki, M. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 9 Määrälaskenta ja kustannusarviot. Viitattu 15.1.2018 <https://tinyurl.com/y8zef8vp>.

Salmi, J. & Salminen, K. 2015. Tietomallintaminen infra-alalla. InfraBIM-tiedotuslehti 2015. Viitattu 22.12.2017 <https://tinyurl.com/y8rp593a>.

Serén, K. 2014. InfraBIM-sanasto. Viitattu 23.1.2018 <https://tinyurl.com/ychfs825>.

Sjöman, I. 2018. Oulun tekninen liikelaitos. Työmaamestarin keskustelu 31.1.2018.

Topgeo Oy 2018. Topcon Sitelink3D. Suullinen tiedonanto 24.1.2018.

Toppi, P. 2018. Leica geosystems Oy. 3D-asiantuntijan keskustelu 24.1.2018.

Ukkola, M. 2017. Oulun kaupunki yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut. Rakennuttajavalvojan haastattelu 30.11.2017.

World Wide Web Consortium. Extensible markup language (XML). Viitattu 27.12.2017 <https://www.w3.org/XML/>.

W3Schools.com. XML Tutorial. Viitattu 27.12.2017 <https://www.w3schools.com/xml/>.